现代采矿工程设计全书

金朝阳　主编

当代中国音像出版社

目　录

第一篇　采矿工程设计常用技术资料 …… (1)
第一章　工程设计常用公式、符号及计量单位换算 …… (3)
第一节　常用力学公式 …… (3)
第二节　常用符号及计量单位换算 …… (43)
第二章　采矿制图与图纸编号 …… (49)
第一节　采矿制图 …… (49)
第二节　图纸编号 …… (74)
第三章　矿井开采抗震设计资料 …… (83)
第一节　简述 …… (83)
第二节　井巷工程震害与采矿抗震设计的有关规定 …… (88)
第四章　煤的性质、分类及用途 …… (91)
第一节　煤的性质 …… (91)
第二节　煤的分类及用途 …… (110)
第五章　采矿常用工程材料 …… (131)
第一节　第一节　钢铁材料 …… (131)
第二节　石、砂材料 …… (185)
第三节　注浆材料 …… (191)
第四节　水泥及水泥砂浆 …… (202)
第五节　混凝土及钢筋混凝土 …… (210)

第二篇　矿区整体设计 …… (225)
第一章　矿区整体设计依据与设计内容 …… (227)

第一节　计划任务书及设计的审批决定 …… (227)
第二节　地质报告 …… (231)
第三节　整体设计内容 …… (237)
第二章　矿区井田划分及尺寸计算 …… (238)
第一节　井田划分的原则 …… (238)
第二节　井田划分的方法 …… (242)
第三节　井田尺寸的规定及计算公式 …… (250)
第三章　矿区规模设计与生产年限 …… (259)
第一节　矿区规模一般规定及依据 …… (259)
第二节　矿区生产年限及储量动用系数 …… (261)
第四章　矿井布置与建设顺序设计 …… (264)
第一节　井田开拓及井筒(平硐)位置 …… (264)
第二节　矿井建设顺序 …… (264)

第三篇　井田开拓 …… (271)
第一章　井田开拓方式设计 …… (273)
第一节　立井开拓方式 …… (273)
第二节　斜井开拓方式 …… (278)
第三节　平硐开拓方式 …… (283)
第四节　综合开拓方式 …… (286)
第五节　多井筒分区域开拓方式 …… (288)
第二章　井口位置和数量确定 …… (291)
第一节　井口位置和井筒数量 …… (291)
第二节　井口坐标计算、提升方位角及井筒方位角 …… (296)
第三节　井口标高及洪水位标高 …… (308)
第三章　井田境界与水平划分 …… (311)
第一节　井田境界 …… (311)
第二节　水平划分 …… (319)
第四章　巷道布置与采区划分 …… (326)
第一节　主要巷道布置 …… (326)
第二节　采区划分与接替计划 …… (332)
第五章　井田开拓方案分析比较 …… (337)

第一节　方案比较内容 …… (337)
第二节　方案比较法 …… (344)
第三节　方案比较实例 …… (351)

第四篇　采煤方法及采掘机械设备 …… (363)
第一章　现代采煤方法总论 …… (365)
第一节　矿井高产高效开采新技术概述 …… (365)
第二节　采煤方法的选择及分类 …… (371)
第二章　采煤基本方法 …… (373)
第一节　缓及倾斜煤层长壁垮落采煤法 …… (373)
第二节　放顶煤采煤法 …… (387)
第三节　急斜煤层采煤法 …… (437)
第四节　充填采煤法 …… (460)
第三章　水力采煤法 …… (468)
第一节　水力采煤的生产系统 …… (468)
第二节　水力落煤与水力采煤方法 …… (473)
第三节　水力采煤评价及其发展趋势 …… (479)
第四章　“三下一上”采煤法 …… (485)
第一节　建筑物下采煤 …… (485)
第二节　铁路下采煤 …… (524)
第三节　水体下采煤 …… (542)
第四节　承压含水层上采煤 …… (554)
第五节　上行式开采 …… (569)
第五章　采煤机械设备选用 …… (578)
第一节　滚筒采煤机 …… (578)
第二节　刨煤机 …… (594)
第三节　MLS_3-170 型采煤机 …… (597)
第六章　掘进机械设备选用 …… (624)
第一节　巷道掘进机械 …… (624)
第二节　立井掘进机械 …… (691)
第七章　支护机械设备选用 …… (757)
第一节　井巷支护机械 …… (757)

第二节　单体液压支柱 …… (765)

第五篇　采区巷道布置与采区车场设计 …… (789)
第一章　采区巷道布置与设计 …… (791)
第一节　采区布置设计依据及要求 …… (791)
第二节　采区上山的布置 …… (793)
第三节　煤层群区段集中平巷的布置及层间联系方式 …… (798)
第四节　采(盘)区参数 …… (802)
第五节　煤层群开采顺序 …… (809)
第二章　近水平、缓及倾斜煤层采区巷道布置 …… (813)
第一节　巷道布置类型 …… (813)
第二节　采区(盘区)巷道布置 …… (814)
第三节　倾斜长壁开采巷道布置 …… (833)
第四节　跨多上山(石门)连续开采巷道布置 …… (838)
第五节　急倾斜煤层采区巷道布置 …… (840)
第三章　综采采区巷道布置 …… (849)
第一节　综采对采区巷道布置的要求 …… (849)
第二节　综采工作面巷道布置方式 …… (850)
第四章　水砂充填采煤法采区巷道布置 …… (852)
第一节　巷道布置类型图示 …… (852)
第二节　巷道布置分析 …… (852)
第五章　水力采煤的采区巷道布置 …… (860)
第一节　水力采煤采区的巷道布置类型图示 …… (860)
第二节　水力采煤采区巷道布置的特点 …… (861)
第六章　危险煤层采区巷道布置 …… (863)
第一节　有煤(岩)与瓦斯(二氧化碳)突出危险煤层的采区巷 …… (863)
第二节　有煤与沼气突出危险煤层的采区巷道布置 …… (875)
第七章　采区车场形式及设计要求 …… (881)
第一节　采区车场形式 …… (881)
第二节　轨道线路设计基础 …… (893)
第八章　采区各车场设计 …… (905)
第一节　采区中部车场线路设计 …… (905)
第二节　采区下部车场线路设计 …… (911)

第三节　采区上部车场线路设计 …… (919)

第六篇　井筒设计 …… (923)
第一章　立井井筒平面设计与装备布置 …… (925)
第一节　井筒平面布置 …… (925)
第二节　钢丝绳罐道 …… (941)
第三节　刚性罐道的计算 …… (948)
第四节　罐道与罐道、罐道与罐道梁的连接 …… (957)
第二章　立井井筒结构设计 …… (973)
第一节　沉井法结构设计 …… (973)
第二节　立井钻井法井壁结构设计 …… (986)
第三章　立井井筒支护设计 …… (1026)
第一节　支护类型及支护材料 …… (1026)
第二节　立井地压计算 …… (1032)
第三节　井筒锚喷支护设计 …… (1039)
第四章　斜井井筒设计 …… (1054)
第一节　设计的主要原则 …… (1054)
第二节　斜井井筒浅部地压估算 …… (1055)
第三节　斜井井筒浅部支护计算 …… (1056)
第五章　斜井井筒装备布置 …… (1058)
第一节　轨　　道 …… (1058)
第二节　水　　沟 …… (1068)
第三节　管线敷设 …… (1070)

第七篇　矿井硐室设计 …… (1077)
第一章　立井硐室设计 …… (1079)
第一节　休息硐室 …… (1079)
第二节　硐室支护计算 …… (1081)
第三节　井底煤仓及箕斗装载硐室 …… (1195)
第二章　斜井硐室设计 …… (1131)
第一节　装载硐室及煤仓 …… (1131)
第二节　信号硐室 …… (1144)
第三节　清理撒煤硐室 …… (1144)

第三章　井底硐室设计 …… (1148)
第一节　主排水系统硐室 …… (1148)
第二节　运输硐室 …… (1157)
第三节　井下爆炸材料发放硐室 …… (1182)
第四章　采区硐室设计 …… (1185)
第一节　采区煤仓 …… (1185)
第二节　采区绞车房 …… (1199)
第三节　采区变电所 …… (1203)
第四节　空气压缩机硐室 …… (1205)

第八篇　巷道断面与交岔点设计 …… (1209)
第一章　巷道断面形状选择与尺寸确定 …… (1211)
第一节　巷道断面形状的选择 …… (1211)
第二节　拱形、梯形及矩形巷道断面尺寸的确定 …… (1213)
第二章　巷道规划与布置 …… (1222)
第一节　封闭拱形巷道断面计算与曲线巷道 …… (1222)
第二节　水沟与巷道管线布置 …… (1227)
第三节　轨道铺设 …… (1239)
第三章　巷道矿山压力观测与控制 …… (1252)
第一节　采区巷道矿山压力观测 …… (1252)
第二节　开拓巷道矿山压力观测 …… (1260)
第三节　巷道矿山压力控制 …… (1266)
第四章　巷道支护设计 …… (1270)
第一节　无煤柱护巷 …… (1270)
第二节　巷道围岩卸压 …… (1283)
第三节　巷道金属支架 …… (1292)
第四节　巷道锚杆支护 …… (1304)
第五节　软岩巷道围岩变形规律及其支护技术 …… (1325)
第六节　锚杆支护质量监测 …… (1336)
第五章　平巷交岔点设计计算 …… (1339)
第一节　交岔点分类 …… (1339)
第二节　交岔点平面尺寸的确定 …… (1340)
第三节　交岔点墙高及斜率 …… (1355)

第四节　交岔点支护 ……（1357）
第五节　工程量及材料消耗量计算 ……（1358）

第九篇　井底车场设计 ……（1361）
第一章　井底车场设计依据及分类 ……（1363）
第一节　井底车场设计依据及要求 ……（1363）
第二节　井底车场分类 ……（1365）
第二章　井底车场的平面布置 ……（1370）
第一节　线路布置的要求 ……（1370）
第二节　井底车场的平面布置 ……（1371）
第三节　井底车场调车方式 ……（1376）
第四节　井底车场巷道断面 ……（1383）
第五节　带式输送机立井井底车场的布置 ……（1385）
第三章　井底车场坡度设计 ……（1394）
第一节　坡度设计应注意的几个问题 ……（1394）
第二节　坡度设计 ……（1395）
第三节　自动滑行计算 ……（1397）
第四节　斜井井底甩车场双钩串车提升时的游车操车方法 ……（1401）
第五节　双钩提升暗斜井上部平车场 ……（1403）
第四章　井底车场通过能力设计 ……（1417）
第一节　电机车在井底车场内运行图表的编制 ……（1417）
第二节　井底车场调度图表的编制 ……（1420）
第三节　通过能力计算 ……（1422）
第五章　井底车场设计实例 ……（1426）
第一节　标准设计索引 ……（1426）
第三节　设计实例 ……（1447）

第十篇　井下运输设计 ……（1473）
第一章　井下运输设计原则 ……（1475）
第一节　设计技术原则 ……（1475）
第二节　矿井运输方式和运输设备 ……（1476）
第二章　大巷煤炭运输设计 ……（1479）
第一节　大巷煤炭运输方式 ……（1479）

第二节　大巷煤炭运输方式的选择 …… (1481)
第三节　大巷运输方案技术经济比较内容和实例 …… (1496)
第三章　采区煤炭运输设计 …… (1499)
第一节　煤炭运输方式的选择 …… (1499)
第二节　采区掘进煤的处理 …… (1501)
第四章　井下辅助运输设计 …… (1505)
第一节　辅助运输方式 …… (1505)
第二节　辅助运输方式选择 …… (1510)
第五章　井下运输设备 …… (1524)
第一节　轨道运输 …… (1524)
第二节　带式输送机运输 …… (1556)
第三节　地下运输辅助设备 …… (1568)

第十一篇　通风与安全设计 …… (1587)
第一章　矿井通风系统与通风设计 …… (1589)
第一节　矿井通风系统 …… (1589)
第二节　矿井风量调节 …… (1602)
第三节　掘进通风设计 …… (1604)
第四节　矿井灾变通风 …… (1611)
第二章　矿井通风测算 …… (1620)
第一节　矿井大气环境检测 …… (1620)
第二节　矿井风量测算 …… (1624)
第三节　矿井通风压力测定 …… (1631)
第四节　矿井通风阻力测定 …… (1634)
第五节　矿井机械通风设计 …… (1639)
第三章　煤与瓦斯突出的防治 …… (1650)
第一节　防治突出技术的理论基础 …… (1650)
第二节　开采保护层的防突作用及应注意的问题 …… (1651)
第三节　预抽煤层瓦斯的防突机理 …… (1655)
第四节　煤层注水在防突中的作用 …… (1661)
第五节　震动放炮在石门揭煤过程中的作用分析 …… (1668)
第六节　水力冲孔防突的作用分析 …… (1677)
第七节　金属骨架在防突中的作用 …… (1680)
第八节　深孔松动爆破的作用分析及改进方向 …… (1682)

第九节　石门揭煤防突新方法的探讨 …… (1688)
第四章　矿井瓦斯抽放 …… (1692)
第一节　我国瓦斯抽放的现状 …… (1692)
第二节　本煤层抽放与合理预抽期 …… (1695)
第三节　瓦斯抽放布孔方式及交叉钻孔扩孔 …… (1716)
第五章　矿井煤尘防治 …… (1738)
第一节　煤尘产生与扩散的控制技术 …… (1739)
第二节　粉尘浓度检测技术 …… (1763)
第六章　矿井火灾防治 …… (1768)
第一节　概述 …… (1768)
第二节　矿井自然发火(内因火灾)防治技术 …… (1770)
第三节　矿井外因火灾防治技术 …… (1805)
第七章　矿井水害防治 …… (1809)
第一节　底板阻抗突水性能分区及防治水措施 …… (1809)
第二节　煤层开采地表沉陷及沉陷区积水的防治 …… (1817)
第八章　煤矿安全监测系统设计 …… (1850)
第一节　概述 …… (1850)
第二节　KJ90 型煤矿综合监控系统 …… (1851)
第三节　KJ95 型煤矿综合监控系统 …… (1855)

第十二篇　计算机在采矿工程设计中的应用 …… (1861)
第一章　计算机软件开发 …… (1863)
第一节　软件开发过程 …… (1863)
第二节　计算机辅助设计软件 …… (1873)
第二章　采矿计算机优化设计 …… (1890)
第一节　采矿计算机优化设计与软件开发方法 …… (1890)
第二节　煤矿采矿设计软件包 …… (1896)
第三章　井筒与硐室设计软件 …… (1912)
第一节　立井井筒设计软件 …… (1912)
第二节　硐室设计软件 …… (1914)
第四章　井底及采区车场设计软件 …… (1919)
第一节　井底车场设计软件 …… (1919)
第二节　采区车场设计软件 …… (1924)

第一篇

采矿工程设计常用技术资料

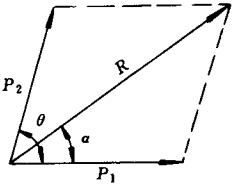
第一章　工程设计常用公式、符号及计量单位换算

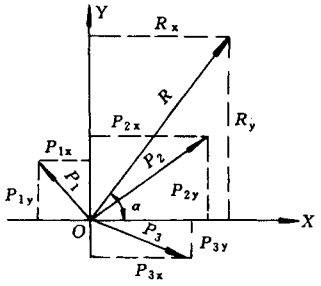
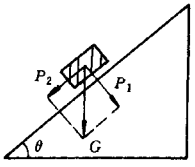
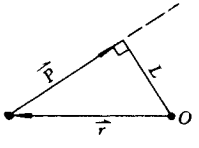
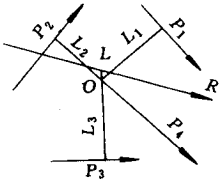
第一节　常用力学公式

一、静力学、运动学、动力学

(一)静力学(表 1－1－1)

表 1－1－1　静力学

名　称	基　本　公　式	符　号　意　义
力的合成与分解	平行四边形法： 作用于一点的两个力 P_1 与 P_2 的合力，可以此两力为邻接边，做出平行四边形，四边形的对角线即为合力 R  $R^2=P_1^2+P_2^2+2P_1P_2\cos\theta$ $\tan\alpha=\dfrac{P_2\sin\theta}{P_1+P_2\cos\theta}$	R－合力 P_1、P_2－作用于一点的两个力 θ－P_1 力与 P_2 力夹角 α－P_1 力与合力 R 的夹角

名　称	基　本　公　式	符　号　意　义
力的合成与分解	解析法： 合力在 x 及 y 轴上的投影为各分力在 x 及 y 轴上投影的代数和，即：  $R_x=\Sigma P_x$，$R_y=\Sigma P_y$ $R=\sqrt{R_x^2+R_y^2}$ $\tan\alpha=\frac{R_y}{R_x}$	R—合力 P_1、P_2、P_3—作用于一点的几个力 R_x、P_{1x}、P_{2x}、P_{3x}—力在 X 轴上的投影 R_y、P_{1y}、P_{2y}、P_{3y}—力在 Y 轴上的投影 α—合力 R 与 X 轴成的角度
	满足下列条件之一时，可用平行四边形法将已知力 R 分解为确定的两个分力： 已知两分力的方向；已知两分力的大小；已知一分力大小及方向；已知一分力的大小及另一分力的方向 图示斜面上物体重量 G 分解为垂直斜面的分力 P_1 及沿斜面方向的分力 P_2  $P_1=G\cos\theta$ $P_2=G\sin\theta$	P_1，P_2—两个分力 G—物体重量 θ—斜面倾角
力矩，力矩定理	力矩： 力 P 对定点 0 的力矩，等于力 P 和定点 0 到力作用线垂直距离的乘积，如图 a  (a) $M=P\cdot L$ 力矩以顺时针旋转为正，反时针旋转为负 矢量式　$\vec{M}=\vec{r}\times\vec{P}$ $L=r\sin(\vec{P},\vec{r})$  (b) 力矩定理：（共面力系） 合力对一点的力矩等于各分力对同一点的力矩代数和，如图 b $RL=P_1L_1+P_2L_2-P_3L_3+0$	M—力矩 P—力 L—定点 0 至力 P 的垂直距离，叫做 P 的力臂 r—力作用点至转轴距离 P_1，P_2，P_3，P_4—各分力 L_1，L_2，L_3—各分力的力臂，P_4 力臂为 0 L—合力 R 的力臂

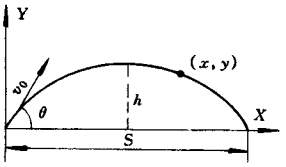
名　称	基　本　公　式	符　号　意　义
力系平衡	共点平面力系平衡条件：各力在两个坐标轴上投影的代数和等于零，即： $\sum P_x = 0 \quad \sum P_y = 0$ 平面一般力系平衡条件：各力在两个坐标轴上投影的代数和等于零及各力对一点的力矩代数和等于零，即： $\sum P_x = 0 ; \sum P_y = 0 ; \sum M = 0$	$\sum P_x$—各力在 x 轴上投影的代数和 $\sum P_y$—各力在 y 轴上投影的代数和 $\sum M$—各力对一点力矩的代数和

（二）运动学（表 1－1－2）

表 1－1－2　运动学

直　线　运　动		
名　称	基　本　公　式	符　号　意　义
等速运动（v = 常量）	$s = vt$	s—运动的路程 v—运动的速度 t—运动的时间
等加速度运动（a = 常量）	$s = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2 = \frac{v_t^2 - v_0^2}{2a} = \frac{(v_t + v_0) t}{2}$ $v_t = v_0 + at$ $a = \frac{v_t - v_0}{t}$	v_0—初速度 a—加速度 v_t—末速度 $\frac{v_t + v_0}{2}$—匀变速直线运动的平均速度 s—运动的路程 t—运动的时间
落　体　运　动		
自由落体运动（$v_0 = 0$）	$h = \frac{1}{2} g t^2 = \frac{1}{2} v_t \cdot t$ $v_t = gt = \sqrt{2gh}$	h—下落的高度 g—重力加速度，$9.8 \mathrm{m/s^2}$ v_t—末速度 t—运动的时间

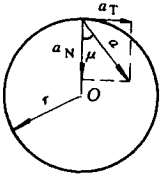
落　体　运　动

名　称	基　本　公　式	符　号　意　义
抛射体运动	抛射水平距离（x）和垂直距离（y）：  $x=v_0t\cos\theta$ $y=v_0t\sin\theta-\frac{1}{2}gt^2$ 抛射体轨迹方程： $y=x\tan\theta-\frac{gx^2}{2v_0^2\cos^2\theta}$ 抛射体达到最大高度的时间： $t_1=\frac{v_0\sin\theta}{g}$ 抛射最大高度： $h=\frac{1}{2g}v_0^2\sin^2\theta$ 抛射体的射程： $s=\frac{1}{g}v_0^2\sin2\theta$	θ—抛射角 v_0—初速度 t—运动的时间 g—重力加速度，9.8m/s^2

定　轴　转　动

名　称	基　本　公　式	符　号　意　义
等速转动 （ω=常量）	角位移： $\varphi=\omega\cdot t$ 转动物体上一点经过的弧长： $s=r\varphi$ 转动一周的时间： $t_0=\frac{2\pi}{\omega}$ 角速度和分转速的关系： $\omega=\frac{\pi n}{30}$ 角速度和线速度的关系： $v=\omega r=\frac{\pi nr}{30}$	φ—角位移（rad） ω—角速度（rad/s） t—转动的时间（s） r—动点离转动轴的距离，即转动半径（m） n—转速（r/min） v—线速度（m/s）

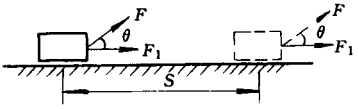
定　轴　转　动

名　称	基　本　公　式	符　号　意　义
等角加速度转动（β = 常量）	 $\varphi=\omega_0 t+\frac{1}{2}\beta t^2=\frac{\omega_t^2-\omega_0^2}{2\beta}=\frac{(\omega_t+\omega_0)\ t}{2}$ $\omega_t=\omega_0+\beta t$ $a_T=\beta r,\ a_N=\omega^2 r=\frac{v^2}{r}$ $a=\sqrt{a_T^2+a_N^2}=r\sqrt{\omega^4+\beta^2}$ $\tan\mu=\frac{a_T}{a_N}=\frac{\beta}{\omega^2}$	ω_0、ω_t—初角速度、末角速度（rad/s） β—角加速度（rad/s²） $\frac{\omega_t+\omega_0}{2}$—等加速转动的平均角速度 φ—角位移（rad） t—转动时间（s） a_T—切向加速度（m/s²） a_N—法向加速度（m/s²） μ—合加速度 a 与法线的夹角（°） v—线速度（m/s）

（三）动力学（表 1－1－3）

表 1－1－3　动力学

名称	直线运动基本公式	定轴转动基本公式	符号意义
牛顿第二定律	物体受到外力作用时，物体的加速度（a）与作用在物体上的合外力（F）成正比，与物体的质量（m）成反比 加速度（a）的方向与合外力（F）的方向一致： $\vec{F}=m\vec{a}$		$m=\frac{G}{g}$—质量，千克或工程质量单位，（1 工程质量单位 = 9.8kg） G—重量，N g—重力加速度，取 9.8g/s²
转动定律		刚体的角加速度（β）与它所受的合外力矩（M）成正比与刚体的转动惯量（J）成反比： $M=J\beta$	$J=mi^2$—物体对转轴的转动惯量，m 是物体的质量，i 是惯性半径①，m

名称	直线运动基本公式	定轴转动基本公式	符号意义
功	 恒力(F)对物体所作的功(W)等于该力(F)与物体移动的路程(S)以及力和物体移动方向之间夹角(θ)余弦的乘积： $W = FS\cos\theta = F_1 S$	恒力矩(M)对绕定轴转动的刚体所作的功(W)，等于力矩(M)的大小与刚体转过的角位移(φ)的乘积： $W = M\varphi$	φ—刚体转过的角位移(rad)
动能	物体的动能(E_K)等于物体的质量(m)和速度(v)的平方的乘积的一半： $E_K = \frac{1}{2}mv^2$	刚体的转动动能(E_K)等于刚体的转动惯量(J)与角速度(ω)的平方的乘积的一半： $E_K = \frac{1}{2}J\omega^2$	
	物体既有直线运动，本身又有回转运动，其总动能为： $E_K = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}J\omega^2$		
重力位能	重力位能(E_P)等于物体所受的重力(mg)和它距参考水平面高度(h)的乘积： $E_P = mgh$		
弹性位能	弹簧伸长量为 x 时的弹性位能： $E_P = \frac{1}{2}Kx^2$		K—弹簧的倔强系数(N/m)
功率	物体在单位时间内所作的功(W)叫做功率(N)，即 $N = \frac{W}{t} = F_1 \cdot \frac{S}{t} = F_1 v$(W)	力矩的功率： $N = \frac{W}{t}$ $= M\frac{\Delta\varphi}{t} = M\omega$(W) 即力矩的功率($N$)等于力矩($M$)与角速度($\omega$)的乘积	1.在公式 $N = \frac{F_1 v}{735}$ 和 $N = \frac{M\omega}{735}$ 中 $F_1 v$ 和 $M\omega$ 的单位都用 W(瓦) 2. n—转速(r/min)

名称	直线运动基本公式	定轴转动基本公式	符号意义
重力的功	重力对质量(m)一定的物体所作的功(W)只由物体的起点和终点的位置(即距参考水平面的高度 h_1 和 h_2)所决定,而与物体所经过的路径无关,即 $W = mgh_1 - mgh_2$ (重力做正功,物体的重力位能减小;重力做负功,物体的重力位能增加)		
动能定理	合外力对物体所做的功(W)等于该物体动能的增量(ΔE_K): $W = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2$	力矩对刚体所作的功(W),等于刚体转动动能的增量(ΔE_K): $W = \frac{1}{2}J\omega_2^2 - \frac{1}{2}J\omega_1^2$	
机械能守恒定律	物体系统在运动过程中,如果只有重力和弹性力作功,而其他力不做功,那么,物体系统的动能和位能可以相互转换,但它们的总和保持不变,即 $\frac{1}{2}mv_2^2 + mgh_2$ $= \frac{1}{2}mv_1^2 + mgh_1$ $\frac{1}{2}mv_2^2 + \frac{1}{2}kx_2^2$ $= \frac{1}{2}mv_1^2 + \frac{1}{2}kx_1^2$		$\frac{1}{2}mv_1^2$—系统原来的动能(J等) mgh_1—系统原来的重力位能(J等) $\frac{1}{2}mv_2^2$—系统后来的动能(J等) mgh_2—系统后来的重力位能(J等) $\frac{1}{2}kx_1^2$—系统原来的弹性位能(J等) $\frac{1}{2}kx_2^2$—系统后来的弹性位能(J等)
动量和动量矩	物体的质量(m)和速度(v)的乘积叫做动量(K): $K = mv$	刚体的转动惯量(J)与角速度(ω)的乘积叫做动量矩或角动量(K_T): $K_T = J \cdot \omega$	mv—动量(kgm/s等) $J \cdot \omega$—动量矩(kgm²/s等)

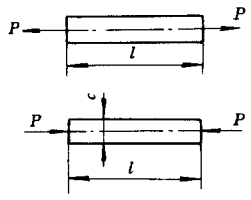
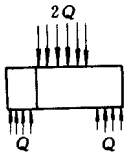
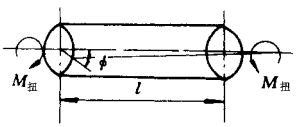
名称	直线运动基本公式	定轴转动基本公式	符号意义
冲量和冲量矩	力(F)和时间(t)的乘积叫做冲量(I)： $\vec{I} = \vec{F} \cdot t$	力矩(M)与作用时间(t)的乘积叫做力对转轴的冲量矩(I_T) $\vec{I}_T = \vec{M} \cdot t$	Ft—冲量(N·s等) Mt—冲量矩(N·m·s等)
动量定理和动量矩定理	物体动量的增量等于物体所受到的冲量，即 $\vec{F} \cdot t = \vec{m} v_2 - \vec{m} v_1$	刚体动量矩的增量等于刚体所受到的冲量矩，即 $\vec{M} \cdot t = J\vec{\omega}_2 - J\vec{\omega}_1$	mv_2—作用后的动量 mv_1—作用前的动量 $J\omega_2$—作用后的动量矩 $J\omega_1$—作用前的动量矩
动量守恒定律和动量矩守恒定律	如果系统内各物体所受的合外力为零，那么系统的总动量保持不变，即 $m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = m_i \vec{v}_{i_0} + m_2 \vec{v}_{2_0}$	如果刚体所受的合外力矩等于零。或者说刚体不受外力矩作用，则刚体的动量矩保持不变，即 $J\omega =$ 恒量	$m_1 v_{10}$ 和 $m_1 v_1$—物体 A 作用前后的动量 $m_2 v_{20}$ 和 $m_2 v_2$—物体 B 作用前后的动量
惯性力	$\phi = -ma$	法向惯性力(离心力)： $\phi_N = -m\omega^2 r$ 切向惯性力： $\phi_T = -mr\beta$	m—物体的质量(kg等) a—物体的加速度(m/s² 等) ω—物体的角速度(rad/s等) r—物体离转动轴的垂直距离(m等) β—物体的角加速度(rad/s² 等)
转动惯量平等轴定理		物体对 z 轴的转动惯量 $J_c = J_c + mK_s^2$	J_c—物体对平行于 z 轴的并通过物体重心的 c 轴的转动惯量(kg·m² 等) K_s—z 轴与 c 轴间的距离(m等)

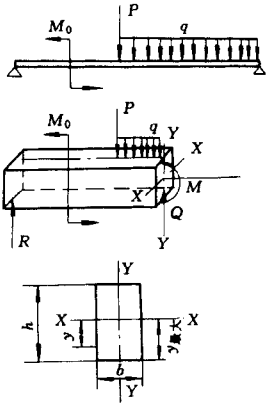
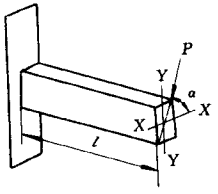
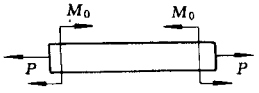
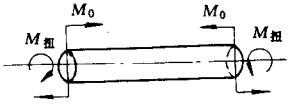
①惯性半径 i 小直径杆件对杆端回转 $i^2 = \frac{1}{3}L^2$，对杆中央回转 $i^2 = \frac{1}{12}L^2$ 圆盘或圆柱对圆心纵轴回转 $i^2 = \frac{1}{2}R^2 r$，圆环对圆心纵轴回转 $i^2 = \frac{1}{2}(R^2 - r^2)$，一般飞轮常取 $i^2 = R^2$ 即 $J = GD^2/4g$(L—杆长，R—外圆半径，r—内圆半径，D—外圆直径)。

二、工程力学

(一)拉伸(压缩)、剪切、扭转、弯曲等基本公式(表 1－1－4,表 1－1－5)

表 1－1－4　拉伸(压缩)、剪切、扭转、弯曲等基本公式

载荷情况	计算公式	符号意义
中心拉伸和压缩  (当 $l<3c$)	纵向力作用下的正应力： $\sigma=\frac{P}{A}\leqslant[\sigma]_{拉}$(拉伸) $\sigma=\frac{P}{A}\leqslant[\sigma]_{压}$(压缩) 纵向绝对变形： $\Delta l=\frac{Pl}{EA}$ 纵向应变：$\varepsilon=\frac{\Delta l}{l}=\frac{\sigma}{E}$ 横向应变：$\varepsilon_1=-\mu\varepsilon$	P—纵向力(N) A—横截面面积(m^2) $[\sigma]$—材料容许应力(N/m^2) E—材料拉压弹性模量(N/m^2) μ—材料的泊松比
剪　切  	横向力作用下的剪切应力： $\tau=\frac{Q}{A}\leqslant[\tau]$ 剪应变： $\gamma=\frac{\tau}{G}$	Q—剪力(N) A—横截面面积(m^2) $[\tau]$—材料容许剪切应力(N/m^2) G—材料剪切弹性模量(N/m^2) $G=\frac{E}{2(1+\mu)}$
圆轴(或圆管)的扭转  	扭矩作用下的剪切应力： $\tau_{最大}=\frac{M_{扭}}{W_{扭}}\leqslant[\tau]$ 最大扭转角： $\phi=\frac{M_{扭}\cdot l}{G\cdot I_{极}}\cdot\frac{180}{\pi}\leqslant[\phi]$	$M_{扭}$—扭矩(N·m) $W_{扭}$—抗扭截面系数(m^3) $I_{极}$—极惯性矩(m^4) l—杆件长度(m) ϕ—刚度条件允许的扭转角(°/m)

载荷情况	计算公式	符号意义
横向弯曲 	横截面上的正应力： $\sigma=\frac{M\cdot y}{I_x}$ 横截面上的剪应力： $\tau=\frac{QS_x}{I_x b}$ 最大正应力 $\sigma_{最大}=\frac{M_{最大}\cdot y_{最大}}{I_x}$ $=\frac{M_{最大}}{W_x}\leqslant[\sigma]$ 最大剪应力： $\tau_{最大}=\frac{Q_{最大}\cdot S_{中}}{I_x\cdot b}\leqslant[\tau]$	M—梁某截面上的弯矩（N·m） Q—梁某截面上的剪力（N） $M_{最大}$，$Q_{最大}$—梁的最大弯矩及最大剪力 y—截面上某点至中性轴 $X-X$ 的距离（m） $y_{最大}$—截面边缘至中性轴 $X-X$ 的距离（m） b—截面宽度（m） S_x—截面上 y 点以外面积对中性轴 $X-X$ 的静矩（m^3） $S_{中}$—截面中性轴以上面积对中性轴 $X-X$ 的静矩（m^3） I_x—截面对中性轴 $X-X$ 的惯性矩（m^4） W_x—截面对中性轴 $X-X$ 的抗弯截面系数（m^3）
斜弯曲（双向弯曲） 	弯矩作用平面与截面主轴线 $X-X$、$Y-Y$ 不重合时，合应力为： $\sigma=\pm\frac{M\cdot\cos\alpha}{W_Y}$ $\pm\frac{M\cdot\sin\alpha}{W_X}$ （式中的正负号代表拉伸或压缩应力，拉应力取＋、压应力取－）	M—弯矩（N·m） α—弯矩向量与 $X-X$ 轴的夹角 W_X—对 $X-X$ 轴的截面系数（m^3） W_Y—对 $Y-Y$ 轴的截面系数（m^3）
拉伸（或压缩）与弯曲 	拉伸（或压缩）与弯矩联合作用下的正应力： $\sigma=\pm\frac{N}{A}\pm\frac{M}{W}$ （拉应力取＋、压应力取－）	N—截面上的轴力（N） M—截面上的弯矩（N·m） A—截面面积（m^2） W—抗弯截面系数（m^3）
弯曲与扭转 	弯矩与扭矩联合作用时 正应力：$\sigma=\frac{M}{W}$ 剪切应力：$\tau=\frac{M_{扭}}{W_{扭}}$ 按第三强度理论建立的强度条件： $\sigma_{合}=\sqrt{\sigma^2+3\tau^2}\leqslant[\sigma]$ （适用于钢材等塑性材料） 按第一强度理论建立的强度条件： $\sigma_{合}=\frac{\sigma}{2}+\sqrt{\frac{\sigma^2+4\tau^2}{2}}\leqslant[\sigma]$ （适用于铸铁等脆性材料）	M—截面上的弯矩（N·m） $M_{扭}$—截面上的扭矩（N·m） W—抗弯截面系数（m^3） $W_{扭}$—抗扭截面系数（m^3） $[\sigma]$—材料容许应力（N/m^2）

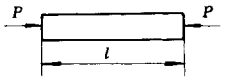
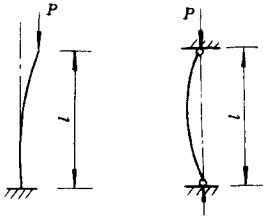
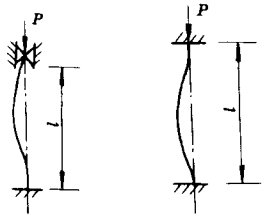
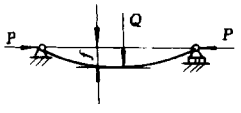
载荷情况	计算公式	符号意义
纵向弯曲  一端自由一端固定　两端铰链  $\mu=2$　　$\mu=1$ 一端铰链一端固定　两端固定  $\mu=\frac{1}{\sqrt{2}}$　　$R=\frac{1}{2}$	当 A_3 钢杆件柔度 $\lambda=\frac{\mu l}{r_{最小}}>100$ 时可用欧拉公式计算杆件的临界载荷： $P_{载}=\frac{\pi^2 EI_{最小}}{\mu^2 l^2}$ 当 $\lambda<100$ 时，应按下式计算杆件的临界载荷： $P_{载}=(a-b\lambda)A$ 杆件的允许载荷： $P\leqslant=\frac{P_{载}}{[n]}$ 当杆件柔度 $\lambda<200$ 时，也可按下式直接计算杆件的允许载荷： $P\leqslant\phi[\sigma]_{压}A$	P—纵向力（N） A—杆件截面面积（m^2） l—压杆长度（m） μ—长度系数（随杆件两端约束情况而定） ϕ—纵向弯曲折减系数（见表 1—1—44） $[\sigma]_{压}$—材料的容许压应力（N/m^2） E—材料的弹性模量（N/m^2） $I_{最小}$—截面最小惯性矩（m^4） $r_{最小}$—截面最小惯性半径（m） $r_{最小}=\sqrt{\frac{I_{最小}}{A}}$ $[n]$—稳定性系数 对于钢材支架构件取 1.7～3 对于钢材传动及起重螺旋构件取 3.5～5 对于铸铁构件取 5～6.5 对于木材取 3～3.5 a、b—系数，3 号钢 $a=3360$，$b=14.7$；铸铁 $a=3387$，$b=14.83$；木材 $a=293$，$b=1.94$ a、b 单位为 N/m^2
纵横弯曲  	柔度 $\lambda>100$ 的杆件受纵向力后的总弯矩： $M_{最大}=M+\frac{Pf}{1-\alpha}$ 杆件的最大正应力： $\sigma=-\frac{M_{最大}}{W}-\frac{P}{\phi A}\leqslant[\sigma]_{压}$	P—纵向力（N） Q—横向力（N） M—横向力 Q 产生的弯矩（N·m） f—横向力 Q 作用下的最大挠度（m） $\alpha=\frac{P}{P_{临}}$—纵向力与杆件临界载荷之比 $P_{临}$—杆件临界载荷（N） ϕ—纵向弯曲折减系数 W—抗弯截面系数（m^3）

表 1－1－5　纵向弯曲折减系数 ϕ 值

柔度 λ	折减系数 ϕ 值					柔度 λ	折减系数 ϕ 值				
	碳素钢		合金钢	铸铁	木材		碳素钢		合金钢	铸铁	木材
	A_3	A_5					A_3	A_5			
10	0.99	0.97	0.98	0.97	0.99	110	0.52	0.44	0.39	—	0.25
20	0.95	0.95	0.95	0.91	0.97	120	0.45	0.33	0.34	—	0.22
30	0.94	0.92	0.93	0.81	0.93	130	0.40	0.33	0.29	—	0.18
40	0.92	0.89	0.90	0.69	0.87	140	0.36	0.29	0.25	—	0.16
50	0.89	0.85	0.83	0.57	0.80	150	0.32	0.26	0.23	—	0.14
60	0.86	0.82	0.73	0.44	0.71	160	0.29	0.24	0.21	—	0.12
70	0.81	0.76	0.71	0.34	0.60	170	0.26	0.22	0.19	—	0.11
80	0.75	0.70	0.63	0.26	0.18	180	0.23	0.19	0.17	—	0.10
90	0.69	0.60	0.54	0.20	0.38	190	0.21	0.18	0.15	—	0.09
100	0.60	0.51	0.45	0.16	0.31	200	0.19	0.16	0.13	—	0.08

（二）几种典型结构的静力计算公式及图表

1.单跨等截面梁（见表 1－1－6）

表 1－1－6　单跨等截面梁的支座反力、剪力、弯矩、挠度和转角公式

P—集中载荷（N）　　y—挠度（m）

q—均布载荷（N/m）　　θ—截面转角（rad）

M_0—外加力矩（N·m）　　l—梁的跨度（m）

R_A，R_B—A，B 点处的支座反力（N）　　X—截面至坐标原点的距离（m）

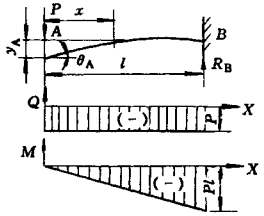
M_A，M_B—A，B 点处的反力矩（N·m）　　E—材料的弹性模量（N/m²）

Q_x—截面 X 处的剪力（N）　　I—横截面对中性轴的惯性矩（m⁴）

M_x—截面 X 处的弯矩（N·m）

悬　　臂　　梁

集中载荷作用在自由端



$$R_B=P$$

$$Q_X=-P$$

$$M_X=-PX$$

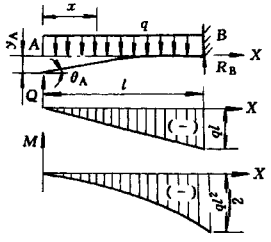
$$M_B=-Pl$$

$$M_{最大}=-Pl$$

$$y_A=-\frac{Pl^3}{3EI}$$

$$\theta_A=-\frac{Pl^2}{2EI}$$

连续均布载荷



$$R_B=ql$$

$$Q_X=-qX\ (X\text{ 由 }0\to l)$$

$$M_X=-\frac{qX^2}{2}\ (X\text{ 由 }0\to l)$$

$$M_B=-\frac{ql^2}{2}$$

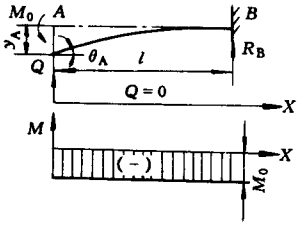
$$M_{最大}=-\frac{ql^2}{2}$$

$$y_A=-\frac{ql^4}{8EI}$$

$$\theta_A=-\frac{ql^3}{6EI}$$

悬　臂　梁

力矩作用在自由端



$$R_B=0$$

$$Q_X=0$$

$$M_X=-M_0 \quad (X \text{ 由 } 0\rightarrow l)$$

$$M_B=-M_0$$

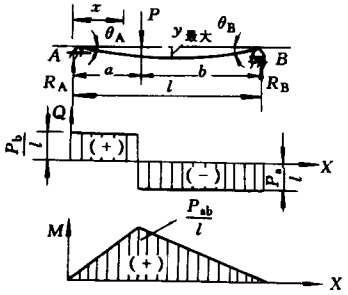
$$M_{最大}=-M_0$$

$$y_A=-\frac{M_0 l^2}{2EI}$$

$$\theta_A=-\frac{M_0 \cdot l}{EI}$$

两　端　自　由　支　承　梁

一个力作用在跨度间



$$R_A=\frac{Pb}{l};\quad R_B=\frac{Pa}{l};$$

$$Q_X=R_A \quad (X<a \text{ 时});\quad Q_X=-R_B \quad (X>a \text{ 时})$$

$$M_X=\frac{Pb}{l}X \quad (X \text{ 由 } 0\rightarrow a)$$

$$M_X=\frac{Pb}{l}(l-X) \quad (X \text{ 由 } a\rightarrow l)$$

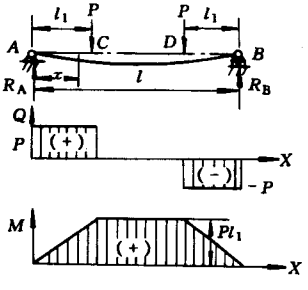
$$M_{最大}=\frac{Pab}{l} \quad (\text{在 } X=a \text{ 处})$$

$$y_{最大}\approx-\frac{Pb}{48EI}(3l^2-4b^2)$$

$$\theta_A=-\frac{Pl^2}{6EI}\left(\frac{b}{l}-\frac{b^3}{l^3}\right)$$

$$\theta_B=\frac{P}{6EI}\left(2bl+\frac{b^3}{l}-3b^2\right)$$

两个力作用在跨度间



$$R_A=R_B=P$$

$$Q_X=P \quad (AC \text{ 间})$$

$$Q_X=0 \quad (CD \text{ 间})$$

$$Q_X=-P \quad (DB \text{ 间})$$

$$M_X=PX \quad (AC \text{ 间})$$

$$M_X=Pl_1 \quad (CD \text{ 间})$$

$$M_{最大}=Pl_1$$

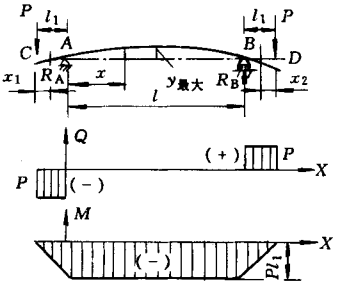
$$y_{最大}=-\frac{Pl_1}{24EI}(3l^2-4l_1^2)$$

$$\theta_A=-\theta_B=-\frac{Pl_1\ (l-l_1)}{2EI}$$

$$\theta_C=-\theta_D=-\frac{Pl_1\ (l-2l_1)}{2EI}$$

两　端　自　由　支　承　梁

两个力作用在外伸端



$$R_A=R_B=P$$

$$Q_{X1}=-P\ (CA\text{ 间})$$

$$Q_X=0\ (AB\text{ 间})$$

$$Q_{X2}=P\ (BD\text{ 间})$$

$$M_X=-Pl_1\ (AB\text{ 间})$$

$$M_{X1}=-PX_1\ (CA\text{ 间})$$

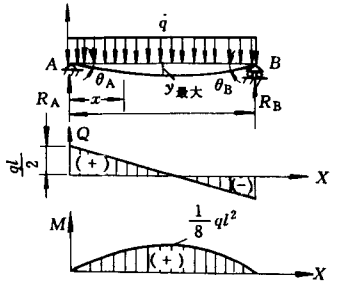
$$M_{X2}=-PX_2\ (BD\text{ 间})$$

$$y_{最大}=-\frac{Pl^2l_1}{8EI}\ (\text{在跨中})$$

$$y_C=y_D=-\frac{Pl_1^2}{3EI}\left(l_1+\frac{3}{2}l\right)$$

$$\theta_A=-\theta_B=\frac{Pll_1}{2EI}$$

连续均布载荷



$$R_A=R_B=\frac{ql}{2}$$

$$Q_X=\frac{ql}{2}-qX\ (X\text{ 由 }0\to l)$$

$$Q_{最大}=\frac{1}{2}ql$$

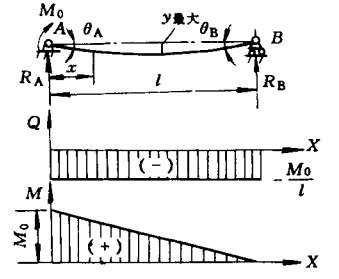
$$M_X=\frac{ql}{2}X-\frac{qX^2}{2}\ (X\text{ 由 }0\to l)$$

$$M_{最大}=\frac{1}{8}ql^2\left(\text{在 }X=\frac{1}{2}\text{处}\right)$$

$$y_{最大}=-\frac{5}{384}\cdot\frac{ql^4}{EI}\left(\text{在 }X=\frac{l}{2}\text{处}\right)$$

$$\theta_A=-\theta_B=-\frac{ql^3}{24EI}$$

力矩作用于支承端



$$R_A=-R_B=-\frac{M_0}{l}$$

$$Q_X=-\frac{M_0}{l}$$

$$M_X=M_0\left(l-\frac{X}{l}\right)\ (X\text{ 由 }0\to l)$$

$$M_{最大}=M_0\ (\text{在 }A\text{ 处})$$

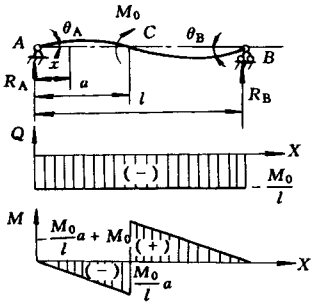
$$y_{最大}\approx-0.0642\frac{M_0l^2}{EI}\ (\text{在 }X=0.422l\text{ 处})$$

$$\theta_A=-\frac{M_0l}{3EI}$$

$$\theta_B=\frac{M_0l}{6EI}$$

两端自由支承梁

力矩作用于跨度间



$$R_A=-R_B=-\frac{M_0}{l}\quad Q_X-\frac{M_0}{l}$$

$$M_X=-\frac{M_0}{l}X\ (AC\text{ 间})$$

$$M_X=M_0\left(1-\frac{X}{l}\right)\ (CB\text{ 间})$$

$$M_{最大}=-\frac{M_0}{l}a+M_0\ (C\text{ 点右一些})$$

$$-M_{最大}=-\frac{M_0}{l}a\ (C\text{ 点左一些})$$

$$y=\frac{M_0}{6EI}\left[\left(6a-3\frac{a^2}{l}-2l\right)X-\frac{X^3}{l}\right]$$

$(AC\text{ 间})$

$$y=-\frac{M_0}{6EI}\left[3a^2+3X^2-\frac{X^3}{l}-\left(2l+3\frac{a^2}{l}\right)X\right]$$

$(CB\text{ 间})$

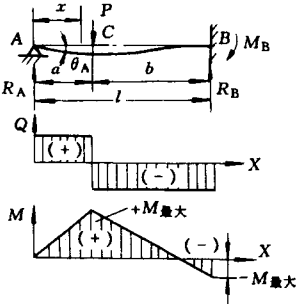
$$\theta_A=\frac{M_0}{6EI}\left(2l-6a+3\frac{a^2}{l}\right)$$

$$\theta_B=\frac{M_0}{6EI}\left(l-3\frac{a^2}{l}\right)$$

$$\theta_C=\frac{M_0}{EI}\left(a-\frac{a^2}{l}-\frac{l}{3}\right)$$

一端自由支承，一端刚性固定的梁

力作用在跨度间



$$R_A=\frac{P}{2}\left(\frac{3b^2l-b^3}{l^3}\right)$$

$$R_B=P-R_A$$

$$M_B=\frac{P}{2}\left(\frac{b^3+2bl^2-3b^2l}{l^2}\right)$$

$$Q_X=R_A\ (AC\text{ 间})$$

$$Q_X=-R_B\ (CB\text{ 间})$$

$$M_X=R_AX\ (AC\text{ 间})$$

$$M_X=R_AX-P\ (X-l+b)\ (CB\text{ 间})$$

$$M_{最大}=R_Aa$$

$$y=\frac{1}{6EI}\left[R_A\ (X^3-3l^2X)\ +3Pb^2X\right]\ (AC\text{ 间})$$

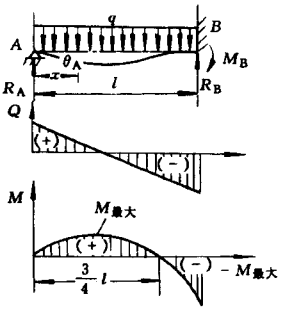
$$y=\frac{1}{6EI}\{R_A(X^3-3l^2X)+P[3b^2X-(X-a)^3]\}$$

$(CB\text{ 间})$

$$\theta_A=\frac{P}{4EI}\left(\frac{b^2}{l}-b^2\right)$$

一端自由支承，一端刚性固定的梁

连续均布载荷



$$R_A=\frac{3}{8}ql$$

$$R_B=\frac{5}{8}ql$$

$$M_B=\frac{1}{8}ql^2$$

$$Q_X=\frac{3}{8}ql-qX$$

$$M_X=qX\left(\frac{3}{8}l-\frac{X}{2}\right)$$

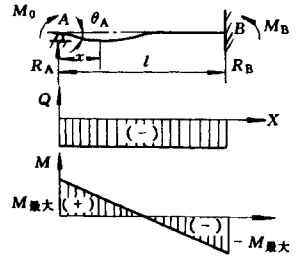
$$M_{最大}=\frac{9}{128}ql^2\left(在\ X=\frac{3}{8}l\ 处\right)$$

$$-M_{最大}=-\frac{1}{8}ql^2\ （在\ B\ 处）$$

$$y_{最大}=\frac{0.0054ql^4}{EI}\ （在\ X=0.4215l\ 处）$$

$$\theta_A=-\frac{ql^3}{48EI}$$

力矩作用在自由支承端



$$R_A=-\frac{3}{2}\cdot\frac{M_0}{l}\qquad R_B=\frac{3}{2}\cdot\frac{M_0}{l}$$

$$M_B=\frac{1}{2}M_0\qquad Q_X=-\frac{3}{2}\cdot\frac{M_0}{l}$$

$$M_X=M_0-\frac{3}{2}\cdot\frac{M_0}{l}X\ （X\ 由\ 0\rightarrow l）$$

$$M_{最大}=M_0\ （在\ A\ 处）$$

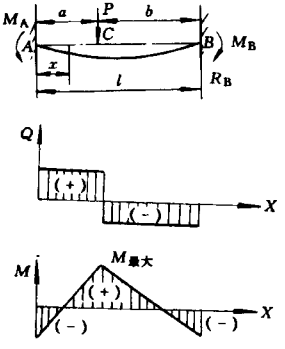
$$-M_{最大}=-\frac{1}{2}M_0\ （在\ B\ 处）$$

$$y_{最大}=-\frac{M_0l^2}{27EI}\left(在\ X=\frac{1}{3}处\right)$$

$$\theta_A=-\frac{M_0l}{4EI}$$

两　端　刚　性　固　定　的　梁

力作用在跨度间



$$R_A=\frac{Pb^2}{l^3}(3a+b)\qquad M_A=P\frac{ab^2}{l^2}$$

$$R_B=\frac{Pa^2}{l^3}(3b+a)\qquad M_B=P\frac{a^2b}{l^2}$$

$$Q_X=R_A\ （AC\ 间）$$

$$Q_X=-R_B\ （CB\ 间）$$

$$M_X=-M_A+R_AX\ （AC\ 间）$$

$$M_X=-M_A+R_AX-P\ （X-a）\ （CB\ 间）$$

$$M_{最大}=-M_A+R_Aa=\frac{2Pa^2b^2}{l^3}\ （在\ C\ 处）$$

$$-M_{最大}=-M_A\ （当\ a<b）$$

$$-M_{最大}=-M_B\ （当\ a>b）$$

$$y_{最大}=-\frac{2}{3}\frac{Pa^3b^2}{EI\ (3a+b)^2}$$

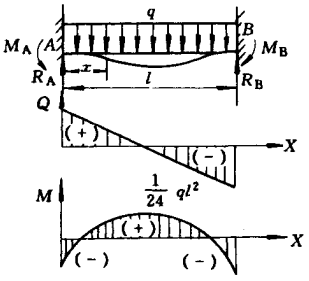
$$\left(在\ X=\frac{2al}{3a+b}处，当\ a>b\right)$$

$$y_{最大}=-\frac{2}{3}\frac{Pa^2b^3}{EI\ (3b+a)^2}$$

$$\left(在\ X=l-\frac{2bl}{3b+a}，当\ a<b\right)$$

两　端　刚　性　固　定　的　梁

连续均布载荷



$$R_A=R_B=\frac{ql}{2}\quad M_A=M_B=\frac{1}{12}ql^2$$

$$Q_X=\frac{ql}{2}\left(1-\frac{2X}{l}\right)$$

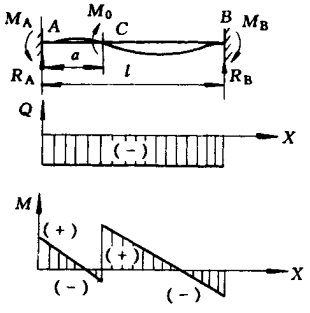
$$M_X=\frac{ql}{2}\left(X-\frac{X^2}{l}-\frac{l}{6}\right)\quad (X\text{ 由 }0\to l)$$

$$M_{最大}=\frac{1}{24}ql^2\left(X=\frac{l}{2}\text{处}\right)$$

$$-M_{最大}=\frac{-ql^2}{12}\quad (\text{在 }A\text{ 及 }B\text{ 处})$$

$$y_{最大}=-\frac{ql^4}{384EI}\left(\text{在 }X=\frac{l}{2}\text{处}\right)$$

力矩作用在跨度间



$$R_A=-R_B=-\frac{6M_0}{l^3}\quad (al-a^2)$$

$$M_A=-\frac{M_0}{l^2}\quad (4la-3a^2-l^2)$$

$$M_B=\frac{M_0}{l^2}\quad (2la-3a^2)$$

$$Q_x=R_A$$

$$M_x=-M_A+R_AX\quad (AC\text{ 间})$$

$$M_x=-M_A+R_AX+M_0\quad (CB\text{ 间})$$

$$M_{最大}=M_0\left(\frac{4a}{l}-\frac{9a^2}{l^2}+\frac{6a^3}{l^3}\right)\quad (C\text{ 点右一些})$$

$$-M_{最大}=M_0\left(\frac{4a}{l}-\frac{9a^2}{l^2}+\frac{6a^3}{l^3}-1\right)\quad (C\text{ 点左一些})$$

$$y=-\frac{1}{6EI}\left(3M_AX^2-R_AX^3\right)\quad (AC\text{ 间})$$

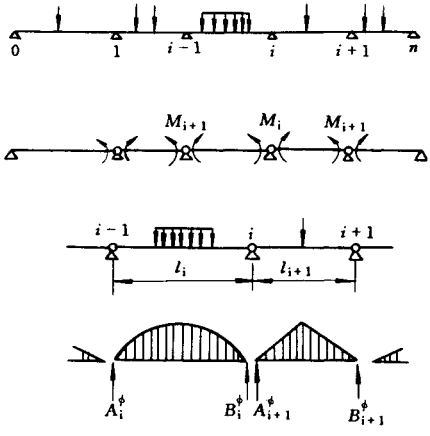
$$y=-\frac{1}{6EI}\left[(M_0+M_A)(3X^2-6lX+3l^2)-R_A(3l^2X-X^3-2l^3)\right]\quad (CB\text{ 间})$$

2.连续梁

(1)三弯矩方程式(表 1－1－7)

表 1－1－7　三弯矩方程式

计算图示



计算公式

对于跨内截面相同，而各跨的截面不相同的连续梁，如上图所示，支座 i 处的三弯矩方程式为：

$$M_{i-1}\frac{l_1}{I_1}+2M_1\left(\frac{l_1}{I_1}+\frac{l_{i-1}}{I_{i+1}}\right)+M_{i+1}\frac{l_{i-1}}{I_{i+1}}=-6\left(\frac{B_i^\phi}{I_i}+\frac{A_{i+1}^\phi}{l_{i+1}}\right)$$

当各跨度截面相同时：

$$M_{i-1}l_i+2M_i(l_i+l_{i+1})+M_{i+1}l_{i+1}=-6(B_i^\phi+A_{i+1}^\phi)$$

利用三弯矩方程可求得各支座的支座弯矩，然后用静力平衡方程式求支座反力及截面内力

符号说明

M_{i-1}，M_i，M_{i+1}—为 $i-1$，i 及 $i+1$ 支座处的弯矩

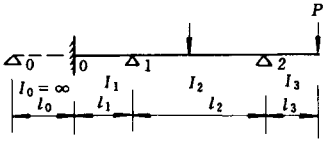
l_i，l_{i+1}—为 i 及 $i+1$ 跨的跨度

I_i，I_{i+1}—为 i 及 $i+1$ 跨的梁横截面对中性轴的惯性矩

B_i^ϕ—以 i 跨作为简支梁，以简支梁的弯矩图作为虚载荷，在虚载荷作用下，其右端支座的虚反力

A_{i+1}^ϕ—以 $i+1$ 跨作为简支梁，以简支梁的弯矩图作为虚载荷，在虚载荷作用下，其左端支座的虚反力

边端处理



1．边端为固定端时：可将边端延长一跨，此跨的跨度及惯性矩定为 l_0 及 $I_0=\infty$，则固定端支座处的三弯矩方程式为

$$2M_0\frac{l_1}{I_1}+M_1\frac{l_1}{I_1}=-6\frac{A_1^\phi}{I_1}$$

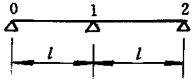
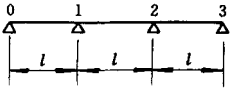
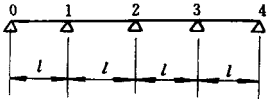
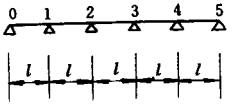
2．边端为外伸端时：可将外伸端支座处的已知弯矩代入方程式中的有关 M 项即可，如图示

$$M_2=-l_3P$$

(2)等跨等截面连续梁支座弯矩计算公式(表 1－1－8)

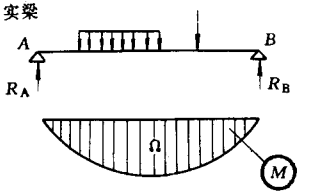
$$R_i^{\phi} = B_i^{\phi} + A_{i+1}^{\phi}$$

表 1－1－8　等跨等截面连续梁支座弯矩计算公式

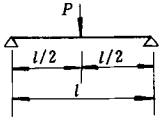
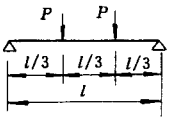
简　图	支座弯矩计算公式	
	各跨承受不同的载荷时	各跨都承受相同的载荷时
	$M_1 = -\frac{3}{2l}R_1^{\phi}$	$M_1 = -\frac{3}{2l}\Omega$
	$M_1 = -\frac{2}{5l}(4R_1^{\phi} - R_2^{\phi})$ $M_2 = \frac{2}{5l}(R_1^{\phi} - 4R_2^{\phi})$	$M_1 = M_2 = -\frac{6}{5l}\Omega$
	$M_1 = -\frac{3}{28l}(15R_1^{\phi} - 4R_2^{\phi} + R_3^{\phi})$ $M_2 = \frac{3}{7l}(R_1^{\phi} - 4R_2^{\phi} + R_3^{\phi})$ $M_3 = -\frac{3}{28l}(R_1^{\phi} - 4R_2^{\phi} + 15R_3^{\phi})$	$M_1 = M_3 = -\frac{9}{7l}\Omega$ $M_2 = -\frac{6}{7l}\Omega$
	$M_1 = -\frac{6}{209l}(56R_1^{\phi} - 15R_2^{\phi} + 4R_3^{\phi} - R_1^{\phi})$ $M_2 = \frac{6}{209l}(15R_1^{\phi} - 60R_2^{\phi} + 16R_2^{\phi} - 4R_4^{\phi})$ $M_3 = -\frac{6}{209l}(4R_1^{\phi} - 16R_2^{\phi} + 60R_3^{\phi} - 15R_4^{\phi})$ $M_4 = \frac{6}{209l}(R_1^{\phi} - 4R_2^{\phi} + 15R_3^{\phi} - 56R_4^{\phi})$	$M_1 = M_4 = -\frac{264}{209l}\Omega$ $M_2 = M_3 = -\frac{198}{209l}\Omega$

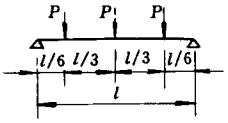
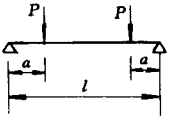
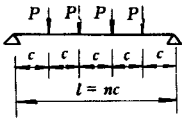
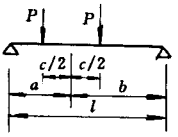
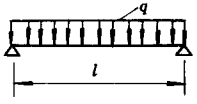
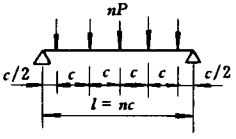
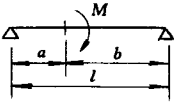
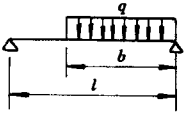
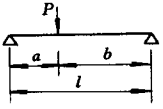
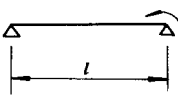
(3) B^{ϕ} A^{ϕ} 及 Ω 值计算公式(表 1－1－9)

表 1－1－9　B^{ϕ}、A^{ϕ}、Ω 值计算公式





实梁荷载图	B^{ϕ}、A^{ϕ}、Ω	实梁荷载图	B^{ϕ}、A^{ϕ}、Ω
	$\Omega = \frac{1}{8}Pl^2$ $A^{\phi} = B^{\phi} = \frac{1}{16}Pl^2$		$\Omega = \frac{2}{9}Pl^2$ $A^{\phi} = B^{\phi} = \frac{1}{9}Pl^2$

实梁荷载图	B^{ϕ}、A^{ϕ}、Ω	实梁荷载图	B^{ϕ}、A^{ϕ}、Ω
	$\Omega=\frac{19}{72}Pl^2$ $A^{\phi}=B^{\phi}=\frac{19}{144}Pl^2$		$\Omega=Pal\left(1-\frac{a}{l}\right)$ $A^{\phi}=B^{\phi}=\frac{1}{2}Pal\left(1-\frac{a}{l}\right)$
	$\Omega=\frac{n^2-1}{12n}Pl^2$ $A^{\phi}=B^{\phi}=\frac{n^2-1}{24n}Pl^2$		$\Omega=\frac{P}{4}(4al-4a^2-c^2)$ $A^{\phi}=\frac{Pl^2}{12}\left[4\frac{l^2b-b^3}{l^3}-3\frac{bc^2}{l^3}\right]$ $B^{\phi}=\frac{Pl^2}{12}\left[4\frac{l^2a-a^3}{l^3}-3\frac{ac^2}{l^3}\right]$
	$\Omega=\frac{1}{12}ql^3$ $A^{\phi}=B^{\phi}=\frac{1}{24}ql^3$		$\Omega=\frac{2n^2+1}{24n}Pl^2$ $A^{\phi}=B^{\phi}=\frac{2n^2+1}{48n}Pl^2$
	$\Omega=\frac{M}{2}(b-a)$ $A^{\phi}=\frac{M}{6l}(3b^2-l^2)$ $B^{\phi}=-\frac{M}{6l}(3a^2-l^2)$		$\Omega=\frac{qb^2l}{12}\left(3-2\frac{b}{l}\right)$ $A^{\phi}=\frac{qb^2l}{24}\left(2-\frac{b^2}{l^2}\right)$ $B^{\phi}=\frac{qb^2l}{24}\left(2-\frac{b}{l}\right)^2$
	$\Omega=\frac{1}{2}Pab$ $A^{\phi}=\frac{1}{6}Pab\left(1+\frac{b}{l}\right)$ $B^{\phi}=\frac{1}{6}Pab\left(1+\frac{a}{l}\right)$		$\Omega=\frac{1}{2}Ml$ $A^{\phi}=\frac{1}{6}Ml$ $B^{\phi}=\frac{1}{3}Ml$

注：B^{ϕ}—虚梁右端支座 B 的虚反力；

A^{ϕ}—虚梁左端支座 A 的虚反力；

Ω—单跨简支梁弯矩图的面积，即虚荷载的总值。

3. 拱

(1) 三铰拱(表 1-1-10)

表 1-1-10　三铰拱支座反力及任意截面内力计算公式

V_A，V_B—支座 A、B 的竖向反力，向上者为正

H_A，H_B，H—支座 A、B 的水平推力，向内者为正

M_X—拱圈任意截面(离左支座水平距离为 x)的弯矩，使拱圈内侧受拉者为正

N_X—拱圈任意截面(离左支座水平距离为 x)的轴力，受压者为正

Q_x—拱圈任意截面(离左支座水平距离为 x)的剪力

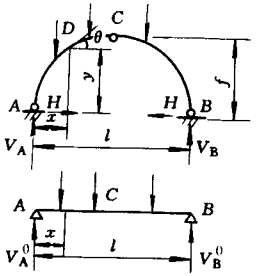
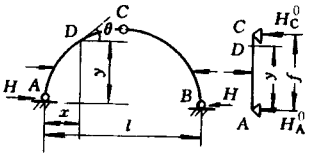
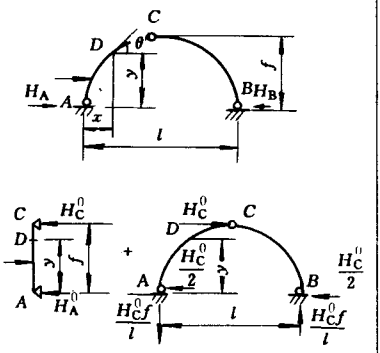
x、y—以左支座为原点，拱轴任意点的坐标值

θ—拱轴任意点切线的倾角，左半拱为正，右半拱为负

l—拱的跨度

f—拱的矢高

V^0、H^0、M^0、N^0、Q^0—代表比拟的简支梁相应的支座反力及任意截面的内力

载荷类型	载荷示意图及比拟关系	支座反力	顶铰内力	任意截面内力
竖向载荷		$H=\frac{M_C^0}{f}$ $V_A=V_{A0}$ $V_B=V_{B0}$	$N_C=\frac{M_C^0}{f}$ $Q_C=Q_C^0$	$M_X=H_X^0-Hy$ $N_X=Q_X^0\sin\theta+H\cos\theta$ $Q_X=Q_X^0\cos\theta-H\sin\theta$
对称水平载荷		$H=-H_A^0$ $\left.\begin{matrix}V_A\\V_B\end{matrix}\right\}=0$	$N_C=H_C^0$ $Q_C=0$	$M_X=M_X^0$ $N_X=-Q_X^0\cos\theta$ $Q_X=Q_X^0\sin\theta$
单面水平载荷		$H_A=-\left(H_A^0+\frac{H_C^0}{2}\right)$ $H_B=\frac{H_C^0}{2}$ $\left.\begin{matrix}V_A\\V_B\end{matrix}\right\}=\mp\frac{H_C^0 f}{l}$	$N_C=\frac{H_C^0}{2}$ $Q_C=-\frac{H_C^0 f}{l}$	AC 段： $M_X=M_y^0+\left(\frac{y}{2}-\frac{fx}{l}\right)H_C^0$ $N_X=-\left(Q_y^0+\frac{H_C^0}{2}\right)\cos\theta-\frac{H_C^0 f}{l}\sin\theta$ $Q_X=\left(Q_y^0+\frac{H_C^0}{2}\right)\sin\theta-\frac{H_C^0 f}{l}\cos\theta$ CB 段： $M_X=\left[f\left(1-\frac{x}{l}\right)-\frac{y}{2}\right]H_C^0$ $N_X=\frac{H_C^0}{2}\cos\theta-\frac{H_C^0 f}{l}\sin\theta$ $Q_X=-\frac{H_C^0}{2}\sin\theta-\frac{H_C^0 f}{l}\cos\theta$

注：1. 计算公式中的 θ 值及简支梁的内力值应带有正负号。

2. 凡是符合该类型的集中、或分布载荷都能适用上述公式。

(2)双铰等截面圆拱(表 1－1－11)

计算双铰等截面圆拱的支座反力及拱顶截面的弯矩，由表中的系数乘以表中的乘数。除图中所示者外，其他的符号为：

V_c、H_c、M_c —— C 点的剪力、轴向力及弯矩；

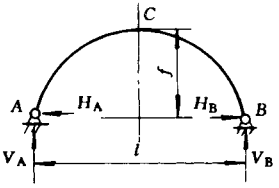
G ——半跨拱的自重；

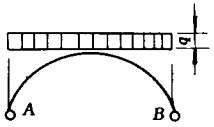
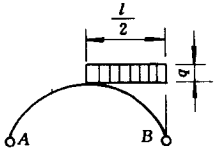
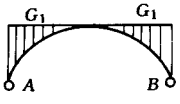
d ——等截面拱的厚度；

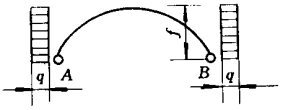
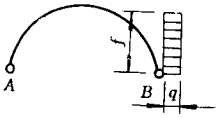
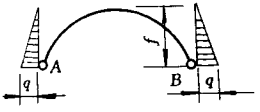
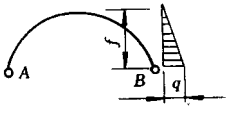
g——拱体材料的容重；

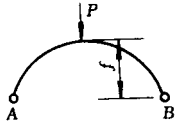
g_1——拱背充填材料的容重。

表 1－1－11　双铰等截面圆拱支座反力及拱顶截面弯矩计算



简　图	项目	$\frac{f}{l}$					乘数
		0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	
 $V_A=V_B=$；$V_C=0$；$H_A=H_B=H_C$	V_A	0.50000	0.50000	0.50000	0.50000	0.50000	ql
	H_A	1.24298	0.61053	0.39464	0.28269	0.21221	ql
	M_C	0.00070	0.00289	0.00661	0.01192	0.01890	ql^2
 $V_A=V_C$；$H_A=H_B=H_C$	V_A	0.25000	0.25000	0.25000	0.25000	0.25000	$ql/2$
	H_B	0.75000	0.75000	0.75000	0.75000	0.75000	$ql/2$
	H_A	0.62149	0.30527	0.19732	0.14135	0.10611	$ql/2$
	M_C	0.00035	0.00145	0.00330	0.00596	0.00995	ql^2
 $V_A=V_B$；$V_C=0$；$H_A=H_B=H_C$	V_A	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	G_1
	H_A	1.40393	0.68587	0.43601	0.30750	0.23026	G_1
	M_C	－0.01637	－0.01588	－0.01335	－0.00940	－0.00344	$G_1 l$
	G_1	0.01640	0.03125	0.04313	0.05090	0.05365	$g_1 l^2$

简　图	项目	$\frac{f}{l}$					乘数
		0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	
	V_A	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	G
	H_A	2.45835	1.16714	0.71335	0.47213	0.31831	G
	M_C	0.00087	0.00376	0.00843	0.01474	0.02404	Gdl
$V_A=V_B$；$V_C=0$； $H_A=H_B=H_C$	G	0.51323	0.55173	0.61248	0.69161	0.78540	gdl
	V_A	0	0	0	0	0	qf
	H_A	−0.42976	−0.42787	−0.42659	−0.42549	−0.42441	qf
$V_A=V_B$；$H_A=H_B$； $H_C=H_A+qf$	M_C	−0.00702	−0.01447	−0.02202	−0.02981	−0.03779	qfl
	V_A	0.05000	0.10000	0.15000	0.20000	0.25000	qf
	H_A	0.28510	0.28616	0.28671	0.28726	0.28779	qf
	H_B	−0.71490	−0.71384	−0.71329	−0.71274	−0.71221	qf
$V_B=-V_A$；$V_C=V_A$； $H_C=H_A$	M_C	−0.00351	−0.00723	−0.01101	−0.01490	−0.01890	qfl
	V_A	0	0	0	0	0	$qf/2$
	H_A	−0.62597	−0.60259	−0.60112	−0.59996	−0.59883	$qf/2$
$V_A=V_B$；$H_A=H_B$； $H_C=H_A+qf/2$	M_C	−0.00407	−0.01282	−0.01966	−0.02668	−0.03392	$qfl/2$
	V_A	0.03333	0.06667	0.10000	0.13333	0.16667	$qf/2$
	H_A	0.18789	0.19871	0.19944	0.20002	0.20059	$qf/2$
$V_B=-V_A$；$V_C=V_A$； $H_C=H_A$	H_B	−0.81211	−0.80129	−0.80056	−0.79998	−0.79941	$qf/2$
	M_C	−0.00212	−0.00641	−0.00983	−0.01334	−0.01696	$qfl/2$

简　图	项目	$\frac{f}{l}$					乘数
		0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	
	V_A	0.50000	0.50000	0.50000	0.50000	0.50000	P
	H_A	1.93700	0.94439	0.60412	0.42796	0.31831	P
$V_A=V_B=V_C$； $H_A=H_B=H_C$	M_C	0.05630	0.06112	0.06876	0.07882	0.09085	Pl

(3)无铰等截面圆拱(表 1－1－12)

计算无铰等截面圆拱的支座反力及拱顶截面的弯矩,表中的系数乘以表中的乘数。除图中所示者外,其他的符号为：

V_C、H_C、M_C—C 点的剪力、轴向力及弯矩；

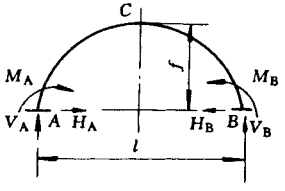
G—半跨拱的自重；

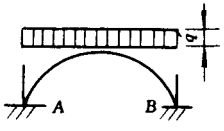
d—等截面拱的厚度；

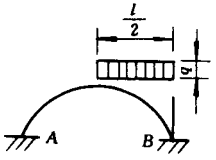
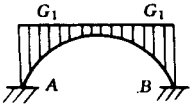
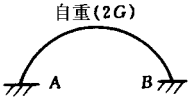
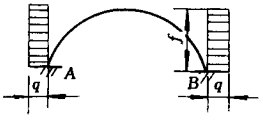
g—拱体材料的容重；

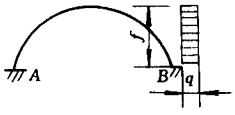
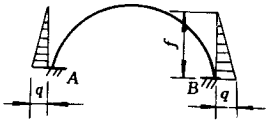
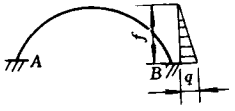
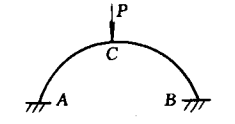
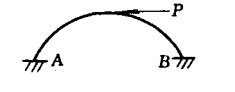
g_1——拱背充填材料的容重。

表 1－1－12　无铰等截面圆拱的支座反力及拱顶截面弯矩计算



简　图	项目	$\frac{f}{l}$					乘数
		0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	
	V_A	0.50000	0.50000	0.50000	0.50000	0.50000	ql
	H_A	1.26093	0.63782	0.43421	0.33558	0.27583	ql
	M_A	0.00131	0.00414	0.00925	0.01649	0.02467	ql^2
$V_A=V_B$；$V_C=0$； $H_A=H_B=H_C$；$M_A=M_B$	M_C	0.00022	0.00158	0.00399	0.00726	0.01175	ql^2

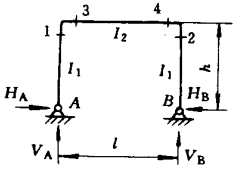
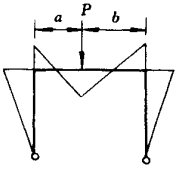
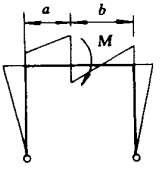
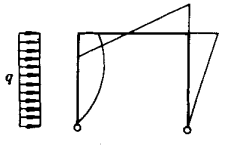
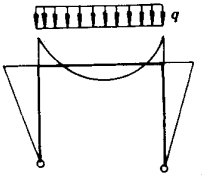
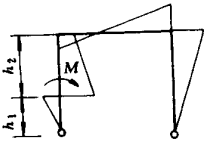
简　图	项目	$\frac{f}{l}$					乘数
		0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	
 $V_A=V_C$；$H_A=H_B=H_C$	V_A	0.18853	0.19162	0.19680	0.20355	0.21101	ql
	V_B	0.81147	0.80838	0.80320	0.79645	0.78899	ql
	H_A	1.26093	0.63782	0.43421	0.33558	0.27583	ql
	M_A	0.03204	0.03333	0.03585	0.03971	0.04416	ql^2
	M_B	−0.02943	−0.02505	−0.01735	−0.00674	0.00517	ql^2
	M_C	0.00021	0.00158	0.00399	0.00726	0.01175	ql^2
 $V_A=V_B$；$V_C=0$； $H_A=H_B=H_C$；$M_A=M_B$	V_A	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	G_1
	H_A	1.09958	0.55637	0.38117	0.29819	0.25308	G_1
	M_A	−0.02641	−0.02206	−0.01419	−0.00397	0.00852	$G_1 l$
	M_C	−0.01070	−0.01030	−0.00972	−0.00833	−0.00599	$G_1 l$
	G_1	0.01640	0.03124	0.04313	0.05090	0.05365	$g_1 l^2$
 $V_A=V_B$；$V_C=0$； $H_A=H_B=H_C$；$M_A=M_B$	V_A	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	G
	H_A	2.48476	1.20645	0.77364	0.54391	0.40147	G
	M_A	0.00186	0.00582	0.01378	0.02200	0.03100	Gl
	M_C	−0.00005	0.00198	0.00435	0.00836	0.01330	Gl^2
	G	0.51323	0.55173	0.61248	0.69161	0.78540	gdl
 $V_A=V_B$；$H_A=H_B$； $H_C=H_A+qf$；$M_A=M_B$	V_A	0	0	0	0	0	qf
	H_A	−0.57184	−0.56746	−0.56888	−0.56350	−0.55300	qf
	M_A	−0.01151	−0.02237	−0.03383	−0.04364	−0.05044	qfl
	M_C	−0.00439	−0.00888	−0.01317	−0.01824	−0.02394	qfl

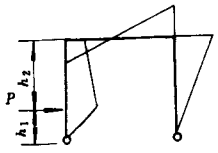
简　图	项目	$\frac{f}{l}$					乘数
		0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	
	V_A	0.02486	0.04855	0.07063	0.0899	0.10532	qf
	H_A	0.21408	0.21453	0.21556	0.21825	0.22350	qf
	H_B	−0.78592	−0.78546	−0.78444	−0.78175	−0.77650	qf
	M_A	0.00682	0.01454	0.02277	0.03322	0.04630	qfl
$V_A=-V_B$；$V_C=V_A$； $H_C=-H_A$	M_B	−0.01832	−0.03691	−0.05660	−0.07686	−0.09838	qfl
	M_C	−0.00216	−0.00410	−0.00659	−0.00912	−0.01279	qfl
	V_A	0	0	0	0	0	$qf/2$
	H_A	−0.75989	−0.75679	−0.75857	−0.75246	−0.73600	$qf/2$
	M_A	−0.01273	−0.02502	−0.03795	−0.04919	−0.05600	$qfl/2$
$V_A=V_B$；$H_A=H_B$； $H_C=H_A+qf/2$；$M_A=M_B$	M_C	−0.00378	−0.00699	−0.01038	−0.01488	−0.02193	$qfl/2$
	V_A	0.01311	0.02561	0.03736	0.04795	0.05821	$qf/2$
	H_A	0.12006	0.12020	0.12072	0.12377	0.13200	$qf/2$
	H_B	−0.87994	−0.87980	−0.87928	−0.87623	−0.86800	$qf/2$
	M_A	0.00375	0.00802	0.01234	0.01810	0.02593	$qfl/2$
$V_B=-V_A$；$V_C=V_A$； $H_C=H_A$	M_B	−0.01647	−0.03304	−0.05030	−0.06728	−0.08253	$qfl/2$
	M_C	−0.00170	−0.00322	−0.00526	−0.00743	−0.01097	$qfl/2$
	V_A	0.50000	0.50000	0.50000	0.50000	0.50000	P
	H_A	2.34606	1.16774	0.77402	0.57689	0.45512	P
	M_A	0.03249	0.03526	0.04014	0.04663	0.05326	Pl
$V_A=V_B=V_C$； $H_A=H_B=H_C$；$M_A=M_B$	M_C	0.04789	0.05171	0.05793	0.06587	0.07570	Pl
	V_A	0.07444	0.14570	0.21105	0.26919	0.31975	P
	H_A	0.50000	0.50000	0.50000	0.50000	0.50000	P
$H_B=-H_A$；$M_B=-M_A$	M_A	0.01278	0.02715	0.04452	0.06540	0.09015	Pl

4.**刚架**

(1)“Π”形刚架(表 1－1－13)

表 1－1－13　“Π”形刚架支座反力及最大弯矩计算公式

		$\lambda=\frac{l}{h}$ $k=\frac{h}{l}\times\frac{I_2}{I_1}$ $\mu=3+2k$
	$\alpha=\frac{a}{l}$ $\beta=\frac{b}{l}$	$V_A=P\beta$；$V_B=Pa$ $H_A=H_B=\frac{3P}{2\mu}\lambda\frac{ab}{l^2}$ $M_1=M_2=\frac{3Pl}{2\mu}\cdot\frac{ab}{l^2}$
	$\alpha=\frac{a}{l}$ $\beta=\frac{b}{l}$ $\phi=\frac{2}{2\mu}(\beta-\alpha)$	$V_A=-V_B=-\frac{M}{l}$ $H_A=H_B=\frac{M}{h}\cdot\phi$ $M_1=M_2=-M\cdot\phi$
	$\phi=\frac{1}{2\mu}(6+5k)$	$V_A=-V_B=-\frac{qh^2}{2l}$ $\left.\begin{matrix}H_A\\H_B\end{matrix}\right\}=-\frac{qh}{2}\left(1\pm1-\frac{\phi}{2}\right)$ $\left.\begin{matrix}M_1\\M_2\end{matrix}\right\}=\frac{qh^2}{4}(1\pm1-\phi)$
		$V_A=V_B=\frac{1}{2}ql$ $H_A=H_B=\frac{ql}{4\mu}\lambda$ $M_1=M_2=\frac{ql^2}{4\mu}$
	$\alpha=\frac{h_1}{h}$ $\phi=\frac{3}{\mu}[1+k(1-\alpha^2)]$ 当 $h_1=0$，$\phi=\frac{3}{\mu}(1+k)$ 当 $h_2=0$，$\phi=\frac{3}{\mu}$	$V_A=-V_B=-\frac{M}{l}$ $H_A=H_B=\frac{M}{2h}\cdot\phi$ $\left.\begin{matrix}M_3\\M_4\end{matrix}\right\}=\frac{M}{2}(1\pm1-\phi)$



$$\alpha=\frac{h_1}{h}$$

$$\phi=\frac{1}{\mu}\left[3\ (1+k)\ -k\alpha^2\right]$$

$$V_A=-V_B=-\frac{Ph_1}{l}$$

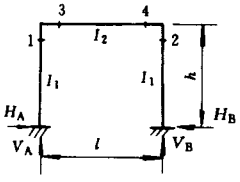
$$\left.\begin{matrix}H_A\\H_B\end{matrix}\right\}=-\frac{P}{2}\ (1\pm1-\alpha\cdot\phi)$$

$$\left.\begin{matrix}M_1\\M_2\end{matrix}\right\}=\frac{Phc}{2}\ (1\pm1-\phi)$$

当 $h_1=h_2$

$$\left.\begin{matrix}H_A\\H_B\end{matrix}\right\}=\pm\frac{P}{2}$$

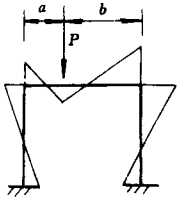
$$\left.\begin{matrix}M_1\\M_2\end{matrix}\right\}=\pm\frac{Ph}{2}$$



$$k=\frac{h}{l}\times\frac{I_2}{I_1}$$

$$\mu_1=2+k$$

$$\mu_2=1+6k$$



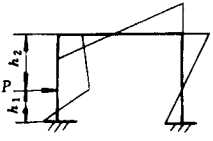
$$\alpha=\frac{a}{l}$$

$$\phi=\frac{1}{\mu_2}\ (1-2\alpha)$$

$$H_A=H_B=\frac{3Pl}{2h\mu_1}\alpha\ (1-\alpha)$$

$$\left.\begin{matrix}M_A\\M_B\end{matrix}\right\}=\frac{Pl}{2}\left(\frac{1}{\mu_1}\mp\phi\right)\alpha\ (1-\alpha)$$

$$\left.\begin{matrix}M_1\\M_2\end{matrix}\right\}=-\frac{Pl}{2}\left(\frac{2}{\mu}\pm\phi\right)\alpha\ (1-\alpha)$$

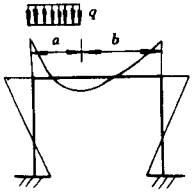


$$\alpha=\frac{h_1}{h}\qquad\beta=\frac{h_2}{h}$$

$$\left.\begin{matrix}H_A\\H_B\end{matrix}\right\}=-\frac{P}{2}\left\{1\pm1-\alpha-\frac{1}{\mu}\left[k\alpha\ (1-\alpha^2)\ -\ (1+k)\ (\beta-\beta^3)\right]\right\}$$

$$\left.\begin{matrix}M_A\\M_B\end{matrix}\right\}=-\frac{Ph}{2}\left\{\frac{1}{\mu_1}\left[\ (1+k)\ (\beta-\beta^3)\ -k\ (\beta-\beta^2)\right]\pm\alpha\left(1-\frac{3k\alpha}{\mu_2}\right)\right\}$$

$$\left.\begin{matrix}M_1\\M_2\end{matrix}\right\}=\frac{Ph}{2}k\alpha^2\left[\frac{1}{\mu_1}\ (1-\alpha)\ \mp\frac{3}{\mu_2}\right]$$



$$\alpha=\frac{a}{l}$$

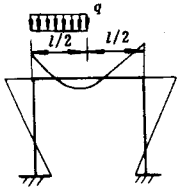
$$\phi=\frac{1}{\mu_1}\ (3a^2-2a^3)$$

$$H_A=H_B=\frac{ql^2}{4h}\cdot\phi$$

$$\left.\begin{matrix}M_A\\M_B\end{matrix}\right\}=\frac{ql^2}{12}\left[\phi\mp\frac{3}{\mu_2}\ (a-a^2)^2\right]$$

$$\left.\begin{matrix}M_1\\M_2\end{matrix}\right\}=-\frac{ql^2}{12}\left[2\phi\pm\frac{3}{\mu_2}\ (a-a^2)^2\right]$$

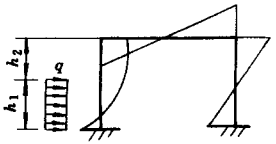
当 $a=l$　$\phi=\frac{1}{\mu_1}$



$$H_A=H_B=\frac{ql^2}{8h\mu_1}$$

$$\left.\begin{matrix}M_A\\M_B\end{matrix}\right\}=\frac{ql^2}{24}\left(\frac{1}{\mu_1}\mp\frac{3}{8\mu_2}\right)$$

$$\left.\begin{matrix}M_1\\M_2\end{matrix}\right\}=-\frac{ql^2}{24}\left(\frac{2}{\mu_1}\pm\frac{3}{8\mu_2}\right)$$



$$\alpha=\frac{h_1}{h}$$

$$\left.\begin{matrix}H_A\\H_B\end{matrix}\right\}=-\frac{qh}{4}\left\{2a\pm 2a-a^2-\frac{1}{\mu_1}\left[k\left(a^2-\frac{a^4}{2}\right)-(1+k)\cdot\phi\right]\right\}$$

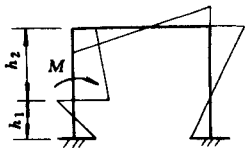
$$\beta=\frac{h_2}{h}$$

$$\left.\begin{matrix}M_A\\M_B\end{matrix}\right\}=\frac{qh^2}{4}\left\{\frac{1}{3\mu_1}\left[(3+2k)\phi-k\left(a^2-\frac{a^4}{2}\right)\right]\pm a^2\left(1-\frac{2ka}{\mu_2}\right)\right\}$$

$$\phi=\frac{1}{2}-\beta^2\left(1-\frac{1}{2}\beta^2\right)$$

$$\left.\begin{matrix}M_1\\M_2\end{matrix}\right\}=-\frac{qh^2ka^3}{4}\left[\frac{4-3a}{6\mu_1}\mp\frac{2}{\mu_2}\right]$$

当　$h_1=h$　　$\phi=\frac{1}{2}$



$$\alpha=\frac{h_1}{h}\quad H_A=H_B=\frac{M}{2h}\left\{1-\frac{1}{\mu_1}[k(3a^2-1)+(1+k)(3\beta^2-1)]\right\}$$

$$\beta=\frac{h_2}{h}\quad\left.\begin{matrix}M_A\\M_B\end{matrix}\right\}=-\frac{M}{2}\left\{\frac{1}{3\mu_1}[k(3a^2-1)+(3+2k)(3\beta^2-1)]\pm\left(1-\frac{6ka}{\mu_2}\right)\right\}$$

$$\left.\begin{matrix}M_3\\M_4\end{matrix}\right\}=\frac{Mk}{2}\left[\frac{1}{\mu_1}(2a^2+\beta^2-1)\pm\frac{6a}{\mu_2}\right]$$

当　$h_1=h$

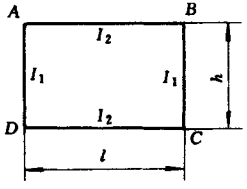
$$H_A=H_B=\frac{3M}{2h\mu_1}$$

$$\left.\begin{matrix}M_A\\M_B\end{matrix}\right\}=\frac{M}{2}\left(\frac{1}{\mu_1}\pm\frac{1}{\mu_2}\right)$$

$$\left.\begin{matrix}M_3\\M_4\end{matrix}\right\}=\frac{Mk}{2}\left(\frac{1}{\mu_1}\pm\frac{6}{\mu_2}\right)$$

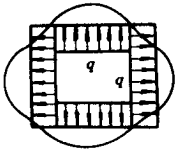
(2)“□”形刚架(表 1－1－14)

表 1－1－14　“□”形刚架最大弯矩计算公式

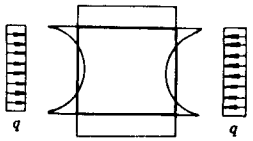


$$k=\frac{h}{l}\times\frac{I_2}{I_1}$$

$$\mu=k^2+4k+3$$



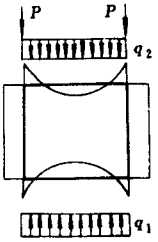
$$M_A=M_B=M_C=M_D=\frac{q(h^2k+l^2)}{12(k+1)}$$



$$M_A=-\frac{qh^2k}{12\ (k+1)}$$

当　$k=1$

$$M_A=M_B=M_C=M_D=-\frac{qh^4}{24}$$



$$P=\frac{(q_1-q_2)}{2}l$$

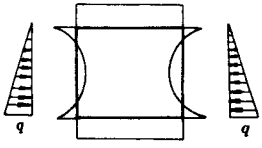
当　$q_1=q_2$

$$M_A=M_B=M_C=M_D=-\frac{q_2l^2}{12\ (k+1)}$$

当　$q_1\neq q_2$

$$M_A=M_B=-\frac{l^2\ [q_2\ (2k+3)\ -q_1k]}{12\ (k^2+4k+3)}$$

$$M_C=M_D=-\frac{l^2\ [q_1\ (2k+3)\ -q_2k]}{12\ (k^2+4k+3)}$$



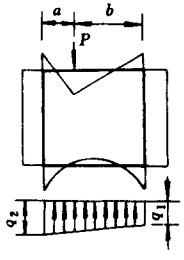
$$M_A=M_B=-\frac{qh^2k\ (2k+7)}{60\ (k^2+4k+3)}$$

$$M_C=M_D=-\frac{qh^2k\ (3k+8)}{60\ (k^2+4k+3)}$$

当　$k=1$

$$M_A=M_B=-\frac{3qh^2}{160}$$

$$M_C=M_D=-\frac{11qh^2}{480}$$



$$a=\frac{a}{l}\qquad \phi=\frac{3\ (1+8a-30a^2+20a^3)}{10\ (1+3k)}$$

$$q_1=\frac{P}{l}\ (6a-2)\qquad q_2=\frac{P}{l}\ (-6a+4)$$

$$\left.\begin{matrix}M_A\\M_B\end{matrix}\right\}=-\frac{Pl}{12}\left\{\frac{1}{\mu}\ [6\ (a-a^2)\ (3+2k)\ -k]\ \pm\phi\right\}$$

$$\left.\begin{matrix}M_C\\M_D\end{matrix}\right\}=-\frac{Pl}{12}\left\{\frac{1}{\mu}\ [3+2k-6k\ (a-a^2)]\ \mp\phi\right\}$$

当　$a=b=\frac{l}{2}$　　$q_1=q_2=\frac{P}{l}$

$$M_A=M_B=-\frac{Pl\ (4k+9)}{24\ (k^2+4k+3)}$$

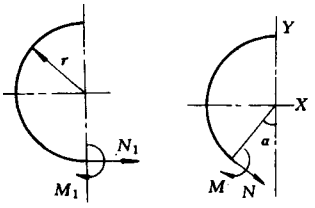
$$M_C=M_D=-\frac{Pl\ (k+6)}{24\ (k^2+4k+3)}$$

若　$k=1$

$$M_A=M_B=-\frac{13Pl}{192}\qquad M_C=M_D=-\frac{7Pl}{192}$$

(3)“○”形刚架(表 1－1－15)

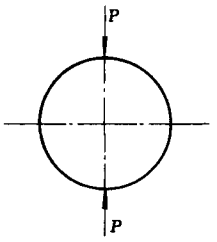
表 1－1－15　“○”形刚架内力计算公式



M_1，N_1—$\alpha=0$ 处截面上的弯矩及轴力

M_2，N_2—$\alpha=\frac{\pi}{2}$处截面上的弯矩及轴力

M，N—任意角 α 截面上的弯矩及轴力



$$M=Pr\left(\frac{1}{\pi}-0.5\sin\alpha\right)$$

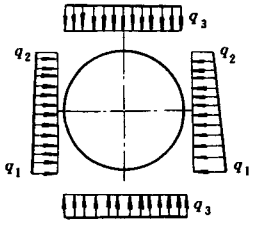
$$N=-0.5P\sin\alpha$$

当　$\alpha=0$

$$M_1\ (M_{max})=0.3183Pr$$

当　$\alpha=\frac{\pi}{2}$

$$M_3\ (M_{min})=-0.1817Pr$$



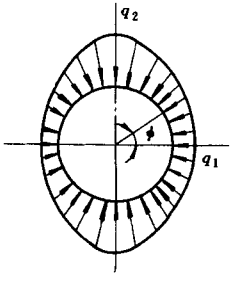
当　$\alpha=0$　　$M_1=\frac{q_3r^2}{4}-\frac{r^2\ (7q_1+5q_2)}{48}$；　　$N_1=-\frac{r\ (11q_1+5q_2)}{16}$

当　$\alpha=\frac{\pi}{2}$　　$M_2=\frac{-q_3r^2}{4}+\frac{r^2\ (q_1+q_2)}{8}$；　　$N_2=-q_3r$

若　$q_1=q_2=q$

$$M_1=\frac{r^2\ (q_3-q)}{4};\qquad N_1=-qr$$

$$M_2=-\frac{r^2\ (q_3-q)}{4};\qquad N_2=-q_3r$$



$$m=\frac{q_2}{q_1};\ 0\leqslant\phi\leqslant\frac{\pi}{2}$$

荷载变化规律：

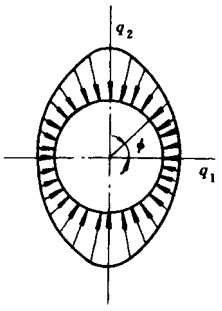
$$q=q_1\ [1+\ (m-1)\ \sin\phi]$$

当　$\alpha=0$

$$M_1=0.1366q_1r^2\ (m-1);\qquad N_2=-q_1r\ [1+0.5\ (m-1)]$$

当　$\alpha=\frac{\pi}{2}$

$$M_2=-0.1488q_1r^2\ (m-1);\qquad N_2=-q_1r\left[1+\frac{\pi}{4}\ (m-1)\right]$$



$$n = \frac{q_1}{q_2}; \qquad 0 \leqslant \phi \leqslant \frac{\pi}{2}$$

荷载变化规律：

$$q = q_1 + (q_2 - q_1)\frac{2\phi}{\pi}$$

当 $\alpha = 0$

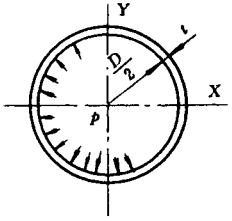
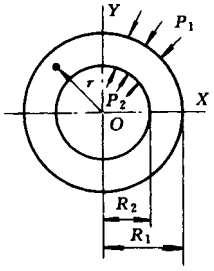
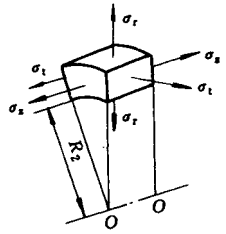
$$M_1 = 0.1366 q S2 r^2 (1 - n)\ ; N_1 = -q_2 r\left[1 - \frac{2(1-n)}{\pi}\right]$$

当 $\alpha = \frac{\pi}{2}$

$$M_2 = -0.1366 q_2 r (1 - n)\ ; N_2 = -q_2 r\left[n + \frac{2(1-n)}{2}\right]$$

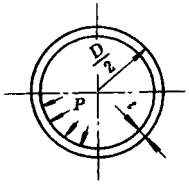
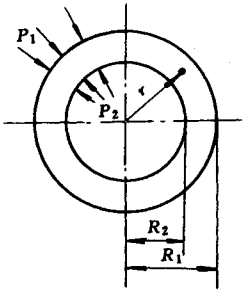
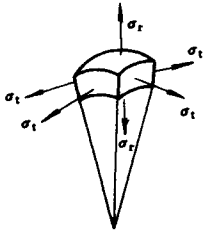
(4)圆筒(表 1－1－16)

表 1－1－16　圆筒应力计算公式

薄壁 $t \leqslant \frac{D}{20}$		$\sigma_x = \frac{PD}{4t}$**(闭口)**；$\sigma_r = 0$**(开口)** $\sigma_t = \frac{PD}{2t}$	D**—内径** t**—壁厚** P_1**—外压** P_2**—内压** R_1**—外壁半径** R_2**—内壁半径** r**—壁内某点至圆心距离** σ_x**—轴向应力** σ_t**—周向应力** σ_r**—径向应力**
厚壁 $t \geqslant \frac{D}{20}$**或** $\frac{R_1}{R_2} > 1.1$	 	$\sigma_x = \frac{P_2 R_1^2}{R_1^2 - R_2^2}$**(闭口)**；$\sigma_z = 0$**(开口)** $\sigma_t = \frac{P_2 R_2^2 - P_1 R_1^2}{R_1^2 - R_2^2} + \frac{(P_2 - P_1) R_1^2 R_1^2}{r^2 (R_1^2 - R_2^2)}$ $\sigma_r = \frac{P_2 R_2^2 - P_1 R_1^2}{R_1^2 - R_2^2} + \frac{(P_2 - P_1) R_1^2 R_1^2}{r^2 (R_1^2 - R_2^2)}$ **当** $P_2 = 0, P_1 \neq 0$**(只承受外压)时：** $\sigma_t = -\frac{P_1 R_1^2}{R_1^2 - R_2^2}\left(1 + \frac{R_2^2}{r_2}\right)$ $\sigma_r = -\frac{P_1 R_1^2}{R_1^2 - R_2^2}\left(1 - \frac{R_2^2}{r_2}\right)$ **按第三强度理论(最大剪应力理论)强度条件为：** $\frac{2 P_1 R_1^2}{R_1^2 - R_2^2} \leqslant [\sigma]$	

(5)圆球(表 1－1－17)

表 1－1－17　圆球应力计算公式

薄壁 $t \leqslant \frac{D}{20}$		$\sigma_t = \frac{PD}{4t}$	
厚壁 $t > \frac{D}{20}$	 	$\sigma_t = -\frac{R_1^3 P_1 - R_2^3 P_2}{R_1^3 - R_2^3} - \frac{(P_1 - P_2) R_1^3 R_2^3}{R_1^2 - R_2^3} \cdot \frac{1}{2r^3}$ $\sigma_r = -\frac{R_1^3 P_1 - R_2^3 P_2}{R_1^3 - R_2^3} + \frac{(P_1 - P_2) R_1^3 R_2^3}{R_1^2 - R_2^3} \cdot \frac{1}{r^3}$	D—内径 t—厚度 P_1—外压 P_2—内压 R_1—外壁半径 R_2—内壁半径 r—壁内某点至圆心距离 σ_t—周向应力 σ_r—径向应力

三、强度校核理论(表 1－1－18)

表 1－1－18　强度校核理论公式

名　称		公　式	适用范围
古典强度理论	最大拉应力理论(第一强度理论)	认为最大拉应力是引起材料断裂破坏的主要因素。其相应的破坏条件是： $\sigma_1 = \sigma_r$ 式中　σ_1—最大拉应力 σ_t—拉伸强度极限 强度校核条件是： $\sigma \leqslant [\sigma]$ 式中　$[\sigma]$—许用应力(以下同)，此处等于 σ_t 除以安全系数	实验指出，它只和脆性材料拉断的情况相符。这个理论没有考虑另外两个主应力对材料断裂破坏的影响，而且对单向压缩和三向压缩等没有拉应力的应力状态无法应用

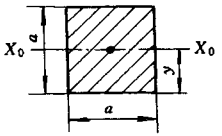
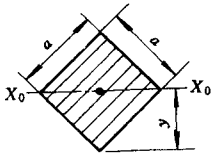
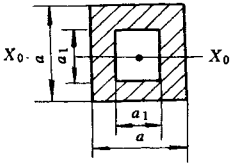
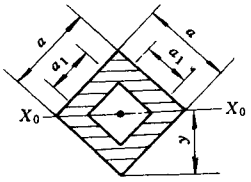
名　　称		公　　式	适用范围
古典强度理论	最大伸长线应变理论（第二强度理论）	认为最大伸长线应变是引起材料断裂破坏的主要因素。其相应的破坏条件是： $\varepsilon_1 = \varepsilon_t = \frac{\sigma_t}{E}$ 式中　ε_1—最大伸长线应变 ε_t—拉伸时破坏的线应变 E—弹性模量 用应力表示的破坏条件是： $\sigma_1 - \mu(\sigma_t + \sigma_3) = \sigma_t$ 强度校核条件是： $\sigma_1 - \mu(\sigma_2 + \sigma_3) \leqslant [\sigma]$ 式中　μ—材料的泊松比 $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$—三向主应力	该理论同样假设材料直到破坏时，仍服从虎克定律。根据对塑性材料的强度研究来看，它和某些实验相矛盾，另在各方向均匀压缩时，这个理论也未被证实。实验表明，对于脆性材料来说，该理论常和实验结果相一致。因此它只适用于脆性材料
	最大剪应力理论（第三强度理论）	认为最大剪应力是引起材料流动破坏的主要因素。其相应的破坏条件是： $\tau_{max} = \tau_t$ 式中　τ_{max}—最大剪应力 τ_t—拉伸时的极限剪应力 用应力表示的破坏条件是： $\sigma_1 - \sigma_3 = \sigma_t$ 式中　σ_1, σ_3—分别为最大、最小主应力 σ_t—拉伸强度极限 强度校核条件是： $\sigma_1 - \sigma_3 \leqslant [\sigma]$	实验指出，最大剪应力理论对于塑性材料是相当符合的。在机械工程中得到广泛应用。但这个理论忽略了中间主应力 σ_2 的影响，使得在二向应力状态下计算结果偏于安全 在三向压应力状态下，亦宜于采用

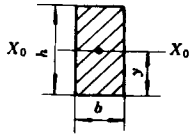
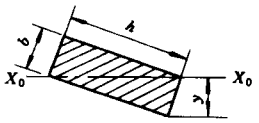
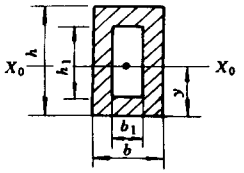
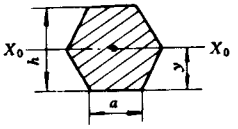
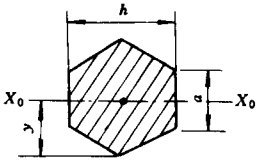
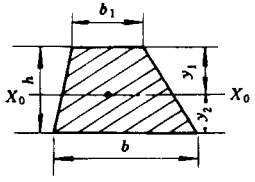
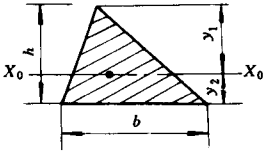
名　　称		公　　式	适用范围
能量强度理论	形状改变比能理论（第四强度理论）	认为形状改变比能是引起材料流动破坏的主要因素。其相应的破坏条件是： $$u_f = u_{f0}$$ 式中　u_f—形状改变比能 u_{f0}—形状改变比能的极限值 用应力表示的破坏条件是： $$\sqrt{\frac{1}{2}[(\sigma_1-\sigma_2)^2+(\sigma_2-\sigma_3)^2+(\sigma_3-\sigma_1)^2]}=\sigma_r$$ 强度校核条件： $$\sqrt{\frac{1}{2}[(\sigma_1-\sigma_2)^2+(\sigma_2-\sigma_3)^2+(\sigma_3-\sigma_1)^2]}\leqslant[\sigma]$$ 式中　$\sigma_1,\sigma_2,\sigma_3$—三向主应力 σ_t—拉伸强度极限	对于塑性材料，它与实验结果基本上是符合的，在二向应力状态下，比第三强度理论更接近实际。在三向压应力状态下，亦宜于采用
联合强度理论	莫尔—库伦强度理论（直线型包络线）	认为材料破坏的原因是由于材料体内某一截面上的剪应力 τ 到达一定限度，但同时又和该面上的正应力 σ 有关。即在极限状态下，滑动面上的剪应力达到了随着法向压力和材料特性而定的最大值。以所得最大主应力圆的包络线作为极限条件。根据库伦定律，材料的抗剪强度由内摩擦力和凝聚力两部分组成： $$\tau_f=\sigma\tan\varphi+C$$ 其应力表示式 $$\tau_f=\frac{\sqrt{\sigma_c\sigma_t}}{2}\left(1+\frac{\sigma_c-\sigma_t}{\sigma_c\sigma_t}\cdot\sigma\right)$$ 式中　τ_f—材料的抗剪强度 σ—作用在剪切面上的正应力 σ_c,σ_t—分别为材料单向抗压和抗拉强度极限	由于它把压缩、拉伸、剪切应力状态与材料强度条件结合起来，实质上是一联合强度理论。经实验指出，它与某些岩体破坏的情况比较符合，目前在岩石力学领域里得到广泛应用。土力学等工程领域亦可应用 由于它忽略了中间主应力 σ_2 的影响，与实际结果有一定的出入。同时，它也不适于材料的膨胀与蠕变破坏

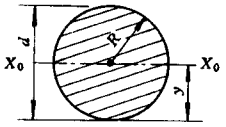
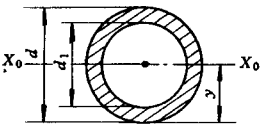
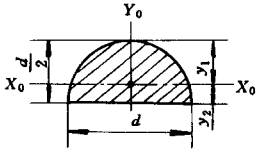
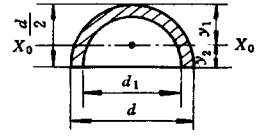
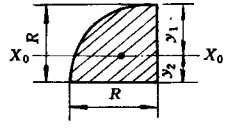
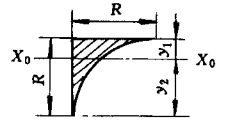
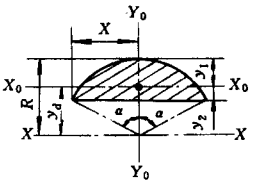
名　　称		公　　式	适用范围
断裂破坏强度理论	格列菲斯强度理论	认为材料体内含有一系列张开的扁平椭圆裂缝，在材料受力时，该裂缝周边将出现很高的拉应力（应力集中现象），当它超过材料的局部抗拉强度时，材料即发生破坏，其破坏条件是： 当 $\sigma_1+3\sigma_3<0$ 时，有： $\sigma_3=\sigma_t$，危险方向与 σ_1 方向一致 当 $\sigma_1+3\sigma_3\geqslant 0$ 时，有： $(\sigma_1-\sigma_3)^2+8\sigma_t(\sigma_1+\sigma_3)=0$，危险方向与 σ_1 斜交 式中　$\sigma_1,\sigma_2,\sigma_3$—三向主应力 σ_t—材料的单向抗拉强度极限	规定压应力为正值，并假设材料为弹性介质，且椭圆裂缝是彼此独立的，相邻裂缝之间不产生相互影响 由于提出时间尚短（1920年），目前应用尚不普遍，有待更多的实践验证

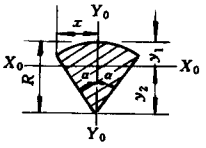
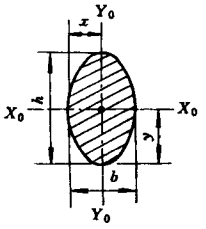
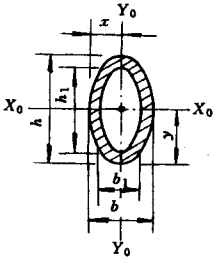
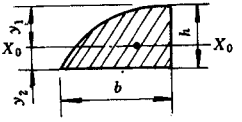
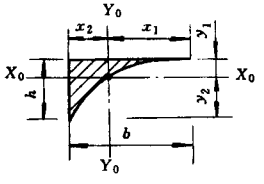
四、各种形状截面的几何特性（表 1－1－19）

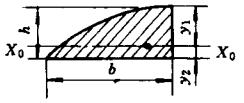
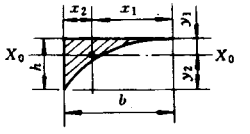
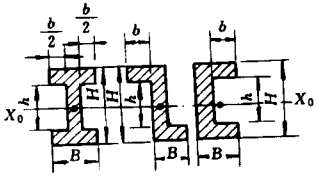
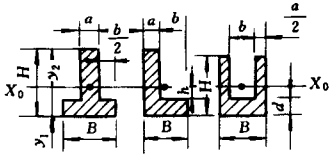
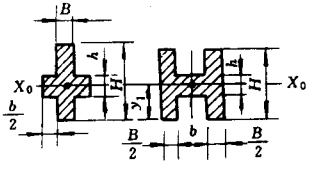
表 1－1－19　各种形状截面的几何特性

截　面　简　图	截　面　积（A）	形心至边缘距离（y）	对于图示形心轴线的惯性矩、截面系数及回转半径（I、W 及 r）
	$A=a^2$	$y=\frac{a}{2}$	$I_{x0}=\frac{1}{12}a^4$ $W_{x0}=\frac{1}{6}a^3$ $r_{x0}=0.289a$
	$A=a^2$	$y=\frac{a}{\sqrt{2}}$	$I_{x0}=\frac{1}{12}a^4$ $W_{x0}=0.118a^3$ $r_{x0}=0.289a$
	$A=a^2-a_1^2$	$y=\frac{a}{2}$	$I_{x0}=\frac{1}{12}(a^4-a_1^4)$ $W_{x0}=\frac{1}{6a}(a^4-a_1^4)$ $r_{x0}=0.289\sqrt{a^2+a_1^2}$
	$A=a^2-a_1^2$	$y=\frac{a}{\sqrt{2}}$	$I_{x0}=\frac{1}{12}(a^4-a_1^4)$ $W_{x0}=0.118\frac{a^4-a_1^4}{a}$ $r_{x0}=0.289\sqrt{a^2+a_1^2}$

截　面　简　图	截　面　积 （A）	形心至边缘距离 （y）	对于图示形心轴线的惯性矩、截面系数及回转半径（I、W 及 r）
	$A=bh$	$y=\frac{h}{2}$	$I_{x0}=\frac{1}{12}bh^2$ $W_{x0}=\frac{1}{6}bh^2$ $r_{x0}=0.289h$
	$A=bh$	$y=\frac{bh}{\sqrt{b^2+h^2}}$	$I_{x0}=\frac{b^3h^3}{6(b^2+h^2)}$
	$A=bh-b_1h_1$	$y=\frac{h}{2}$	$I_{x0}=\frac{bh^3-b_1h_1^3}{12}$ $W_{x0}=\frac{bh^3-b_1h_1^3}{6h}$ $r_{x0}=0.289\sqrt{\frac{bh^3-b_1h_1^3}{bh-b_1h_1}}$
	$A=\frac{3\sqrt{3}}{2}a^2$ $A=\frac{\sqrt{3}}{2}h^2$	$y=\frac{\sqrt{3}}{2}a$ $y=\frac{1}{2}h$	$I_{x0}=0.541a^4=0.0601h^4$ $W_{x0}=\frac{5}{8}a^3=0.120h^3$ $r_{x0}=0.456a=0.264h$
	$A=\frac{3\sqrt{3}}{2}a^2$ $A=\frac{\sqrt{3}}{2}h^2$	$y=a$ $y=\frac{h}{\sqrt{3}}$	$I_{x0}=0.541a^4=0.0601h^4$ $W_{x0}=0.541a^3=0.104h^3$ $r_{x0}=0.456a=0.264h$
	$A=\frac{h(b+b_1)}{2}$	$y_1=\frac{h(b_1+2b)}{3(b_1+b)}$ $y_2=\frac{h(b+2b_1)}{3(b+b_1)}$	$I_{x0}=\frac{h^3(b^2+4bb_1+b_1^2)}{36(b+b_1)}$
	$A=\frac{1}{2}bh$	$y_1=\frac{2}{3}h$ $y_2=\frac{1}{3}h$	$I_{x0}=\frac{1}{36}bh^2$ $W_{x01}=\frac{bh^2}{24}$；$W_{x02}=\frac{bh^2}{12}$ $r_{x0}=0.236h$

截　面　简　图	截　面　积 （A）	形心至边缘距离 （y）	对于图示形心轴线的惯性矩、截面系数及回转半径（I、W 及 r）
	$A=\frac{\pi}{4}d^2=0.785d^2$ $A=\pi R^2=3.142R^2$	$y=\frac{d}{2}$ $y=R$	$I_{x0}=\frac{\pi}{64}d^4=0.0491d^4$ $W_{x0}=\frac{\pi}{32}d^4=0.0982d^4$ $r_{x0}=\frac{1}{4}d$
	$A=\frac{\pi\ (d^2-d_1^2)}{4}$ $=0.785\ (d^2-d_1^2)$	$y=\frac{d}{2}$	$I_{x0}=\frac{\pi\ (d^4-d_1^4)}{64}$ $=0.0491\ (d^4-d_1^4)$ $W_{x0}=0.0982\frac{d^4-d_1^4}{d}$ $r_{x0}=\frac{\sqrt{d^2+d_1^2}}{4}$
	$A=\frac{1}{8}\pi d^2$ $=0.393d^2$	$y_1=\frac{d\ (3\pi-4)}{6\pi}$ $=0.288d$ $y_2=\frac{2d}{3\pi}$ $=0.212d$	$I_{x0}=\frac{d^4\ (9\pi^2-64)}{1152\pi}$ $=0.00686d^4$
	$A=\frac{\pi}{8}\ (d^2-d_1^2)$ $=0.393\ (d^2-d_1^2)$	$y_1=\frac{d}{2}-y_2$ $y_2=\frac{2}{3\pi}\times\frac{(d^3-d_1^3)}{(d^2-d_1^2)}$	$I_{x0}=\frac{9\pi^2\ (d^4-d_1^4)\ (d^2-d_1^2)-64\ (d^2-d_1^3)^3}{1152\pi\ (d^2-d_1^2)}$
	$A=\frac{\pi}{4}R^2$ $=0.785R^2$	$y_1=\left(1-\frac{4}{3\pi}\right)R$ $=0.576R$ $y_2=\frac{4}{3\pi}R$ $=0.424R$	$I_{x0}=\frac{9\pi^2-64}{144\pi}R^4=0.0549R^4$
	$A=R^2\left(1-\frac{\pi}{4}\right)$ $=0.215R^2$	$y_1=0.223R$ $y_2=\frac{R}{6\left(1-\frac{\pi}{4}\right)}$ $=0.777R$	$I_{x0}=R^4\left(\frac{1}{3}-\frac{\pi}{16}-\frac{1}{36-9\pi}\right)$ $=0.00755R^4$
 $X=R\sin\alpha$	$A=\frac{R^2}{2}\ (2\alpha-\sin2\alpha)$	$y_d=\frac{4R}{3}\times\frac{\sin^3\alpha}{2\alpha-\sin2\alpha}$ $y_1=R-y_d$ $y_2=R\ (1-\cos\alpha)-y_1$	$I_{x0}=\frac{R^4}{72}\left[18\alpha-9\sin2\alpha\cos2\alpha-\frac{64\sin^3\alpha}{2\alpha-\sin2\alpha}\right]$ $I_x=\frac{R^4}{8}\ (2\alpha-\sin2\alpha\cos2\alpha)$ $I_{r0}=\frac{R^4}{24}\ [6\alpha-\sin2\alpha\ (3+2\sin^2\alpha)]$

截　面　简　图	截　面　积 （A）	形心至边缘距离 （y）	对于图示形心轴线的惯性矩、截面系数及回转半径（I、W 及 r）
 $X=R\sin\alpha$	$A=aR^2$	$y_1=R-y_1$ $y_2=\frac{2}{3}\times\frac{R\sin\alpha}{\alpha}$	$I_{x0}=\frac{R^4}{4}\left(\alpha+\sin\alpha\cos\alpha-\frac{16\sin^2\alpha}{9\alpha}\right)$ $I_{r0}=\frac{R^4}{4}(\alpha-\sin\alpha\cdot\cos\alpha)$
椭圆 	$A=\frac{\pi}{4}bh$ $=0.785bh$	$y=\frac{1}{2}b$ $z=\frac{1}{2}b$	$I_{x0}=\frac{\pi bh^3}{64}=0.0491bh^3$ $W_{x0}=\frac{\pi bh^2}{32}=0.0982bh^2$ $l_{x0}=\frac{1}{4}h$ $l_{r0}=\frac{\pi hb^3}{64}=0.0491hb^3$ $W_{r3}=\frac{\pi hb^2}{32}=0.0982hb^2$ $r_0=\frac{1}{4}b$
椭圆 	$A=\frac{\pi(bh-b_1h_1)}{4}$ $=0.785(bh-b_1h_1)$	$y=\frac{1}{2}h$ $z=\frac{1}{2}b$	$I_{x0}=\frac{\pi(bh^3-b_1h_1^2)}{64}$ $=0.0491(bh^3-b_1h_1^2)$ $I_{r0}=\frac{\pi(hb^3-h_1b_1^3)}{64}$ $=0.0491(hb^3-h_1b_1^3)$
二次抛物线 	$A=\frac{2}{3}bh$	$y_1=\frac{5}{8}h$ $y_2=\frac{3}{8}h$	$I_{x0}=\frac{19}{480}bh^3$
二次抛物线 	$A=\frac{1}{3}bh$	$y_1=\frac{1}{4}h$ $y_2=\frac{3}{4}h$ $z_1=\frac{7}{10}b$ $z_2=\frac{3}{10}b$	$I_{x0}=\frac{1}{80}bh^2$ $I_{r0}=\frac{37}{2100}hb^3$

截　面　简　图	截　面　积 （A）	形心至边缘距离 （y）	对于图示形心轴线的惯性矩、截面系数及回转半径（I、W 及 r）
n 次抛物线 	$A=\frac{n}{n+1}bh$	$y_1=\frac{n+3}{2\ (n+2)}h$ $y_2=\frac{n+1}{2\ (n+2)}h$	$I_{X0}=\frac{n\ (n^2+4n+7)\ bh^2}{12\ (n+3)\ (n+2)^2}$
n 次抛物线 	$A=\frac{1}{n+1}bh$	$y_1=\frac{1}{n+2}h$ $y_2=\frac{n+1}{n+2}h$ $x_1=\frac{3n+1}{2\ (2n+1)}b$ $x_2=\frac{n+1}{2\ (2n+1)}b$	$I_{X0}=\frac{bh^3}{(n+3)\ (n+2)^2}$ $I_{Y0}=\frac{(7n^2+4n+1)}{12\ (3n+1)\ (2n+1)^2}hb^2$
	$A=BH-bh$	$y=\frac{H}{2}$	$I_{x0}=\frac{BH^3-bh^3}{12}$ $W_{x0}=\frac{BH^3-bh^2}{6H}$
	$A=BH-b\ (y_2+h)$	$y_1=\frac{aH^2+bd^2}{2\ (aH+bd)}$ $y_2=H-y_1$	$I_{x0}=\frac{1}{3}\ (By_1^3-bh^3+ay_2^2)$
	$A=BH+bh$	$y_1=\frac{H}{2}$	$I_{x0}=\frac{BH^3+bh^2}{12}$ $W_{x0}=\frac{BH^3+bh^3}{6H}$

注：表中轴线 X_0-X_0，Y_0-Y_0 通过截面形心；a 角度按弧度计算。

第二节　常用符号及计量单位换算

一、字母表

拉丁字母、希腊文、俄文字母及罗马数字分别见表 1－1－20～**表** 1－1－22。

表 1－1－20　**拉丁字母**

字母		汉语		拉丁语	英语	德语
大写	小写	读音	名称	名称	名称	名称
A	a	啊	啊	啊	哀	啊
B	b	勃	玻诶	杯	比	杯
C	c	雌	雌诶	猜	西	猜
D	d	得	得诶	歹	低	歹
E	e	鹅	鹅	哀	衣	哀
F	f	拂	诶拂	诶拂	诶拂	诶拂
G	g	个	哥诶	哥诶	基	哥诶
H	h	赫	哈	啊是	诶去	哈
I	i	衣	衣	衣	啊哀	衣
J	j	基	街	哟特	街	哟特
K	k	克	科诶	卡	克诶	卡
L	l	勒	诶勒	诶勒	诶勒	诶勒
M	m	摸	诶摸	诶摸	诶姆	诶姆
N	n	讷	讷诶	讷诶	诶恩	诶恩
O	o	喔	喔	喔	欧	喔
P	p	泼	坡诶	配	批	配
Q	q	欺	丘	库	克由	克夫
R	r	日	阿儿	诶儿	啊而	诶而
S	s	思	诶思	诶思	诶思	诶思
T	t	特	特诶	特诶	梯	特诶
U	u	乌	乌	乌	由	由
V	v	维	物诶	物诶	维	维
W	w	乌	蛙	独勃勒维	达勃留	独勃勒维
X	x	希	希	衣克思	诶克司	衣克思
Y	y	衣	呀	衣格列克	外	宇普西隆
Z	z	资	资诶	贼特	资诶特	猜特

表 1－1－21　希腊文、俄文字母

希腊文						俄文					
大写	小写	名称	大写	小写	名称	大写	小写	名称	大写	小写	名称
Α	α	阿尔法	Ν	ν	纽	А	а	阿	Р	р	爱尔
Β	β	贝塔	Ξ	ξ	克西	Б	б	勃	С	с	爱斯
Γ	γ	伽马	Ο	ο	俄密克戎	В	в	窝	Т	т	特
Δ	δ	得尔塔	Π	π	派	Г	г	格	У	у	乌
Ε	ε	艾普西隆	Ρ	ρ	若	Д	д	德	Ф	ф	爱弗
Ζ	ζ	截塔	Σ	σ	西格马	Е	е	耶	Х	х	赫
Η	η	艾塔	Τ	τ	套乌	Ё	ё	尧	Ц	ц	侧
Θ	θ,ϑ	西塔	Υ	υ	宇普西隆	Ж	ж	日	Ч	ч	赤
Ι	ι	约塔	Φ	φ,ϕ	斐	Э	э	兹	Ш	ш	什
Κ	κ	卡帕	Χ	χ	喜	И	и	伊	Щ	щ	什齐
Λ	λ	兰姆达	Ψ	ψ	普西	Й	й	依	Ь	ь	（软音符）
Μ	μ	缪	Ω	ω	欧米嘎	К	к	克	Ы	ы	唉
						Л	л	爱勒	Ъ	ъ	（硬音符）
						М	м	爱姆	Э	э	哎
						Н	н	恩	Ю	ю	龙
						О	о	奥	Я	я	呀
						П	п	坡			

表 1－1－22　罗马数字

罗马数字			阿拉伯数字	罗马数字			阿拉伯数字
Ⅰ	Ⅰ	ⅰ	1	Ⅸ	Ⅸ	ⅸ	9
Ⅱ	Ⅱ	ⅱ	2	Ⅹ	Ⅹ	ⅹ	10
Ⅲ	Ⅲ	ⅲ	3	ⅩⅩ	ⅩⅩ	ⅹⅹ	20
Ⅳ	Ⅳ	ⅳ	4	Ⅼ	1		50
Ⅴ	Ⅴ	ⅴ	5	Ⅾ			500
Ⅵ	Ⅵ	ⅵ	6	Ⅿ			1000
Ⅶ	Ⅶ	ⅶ	7	$\overline{\text{Ⅹ}}$			10000
Ⅷ	Ⅷ	ⅷ	8	$\overline{\text{Ⅿ}}$			1000000

注：罗马数字有七种基本符号：Ⅰ－1，Ⅴ－5，Ⅹ－10，Ⅼ－50，Ⅽ－100，Ⅾ－500，Ⅿ－1000。两种符号并列时，小数放在大数的左边，表示大数对小数之差；小数放在大数的右边，则表示小数与大数之和。在符号上面加一短横线表示这个符号代表的数目增值 1000 倍。

二、计量单位换算(表 1－1－23)

表 1－1－23　计量单位换算

物理量		法定单位			许用非法定单位			非许用单位		
名称	符号	名称	符号	换算	名称	符号	换算	名称	符号	换算
长度	l，(L)	米	m		埃	Å	10^{-10}m	英　里	mile	1609.344m
		海里	n　mile	1852m	秒差距	pc	3.0857 $\times16^{16}$m	浪	furlong	201.168m
								测　链	chain	20.1168m
		千米，公里	km	1000m	天文单位距离	A	1.49597870 $\times10^{11}$m	码	yd	0.9144m
					光年	l.y.	9.46053 $\times10^{15}$m	英　尺	ft	0.3048m
								英　寸	in	0.0254m
面积	A，(S)	平方米	m^2		公亩	a	10^2m^2	平方英里	$mile^2$	2.589988 $\times10^6m^2$
					公顷	ha	10^4m^2	平方英尺	ft^2	9.290304 $\times10^{-2}m^2$
					[市]亩		666.6m^2	平方英寸	in^2	6.451600 $\times10^{-4}m^2$
					[市]分		66.6m^2	英　亩	acre	4.046856 $\times10^3m^2$
					[市]厘		6.6m^2			
体积，容积	V	立方米	m^3					立方英尺	ft^3	2.831685 $\times10^{-2}m^3$
		升	L，l	$10^{-3}m^3$				立方英寸	in^3	1.63871 $\times10^{-5}m^3$
								英加仑	UK gal	4.546092L
								美加仑	US gal	3.78543L
								夸　脱	qt	1.136523L
								品　脱	pt	0.5682615L
								蒲式耳（英）	bsh，bu	36.368L
								蒲式耳（美）	bsh，bu	35.238L
质量	m	千克（公斤）	kg		[米制]克拉		2×10^{-4}kg	磅	lb	0.453592kg
		吨	t	10^3kg				英吨	long ton	1016.0469kg
		原子质量单位	u	1.66057 $\times10^{-27}$kg				美吨	sbort ton	907.18474kg
								英担	cwt	50.802345kg
								夸特	qt，qtr	12.700586kg
								盎司	oz	28.349523g
								格令	gr，gn	0.064799g
力 重力	F W， (P，G)	牛［顿］	N	1m·kg·s^{-2}				千克力	kgf	9.80665N
								吨力	tf	9.80665 $\times10^3$N
								达　因	dyn	10^{-5}N
								磅　达	pdl	0.138255N
								磅　力	lbf	4.44822N
压力，压强	p	帕［斯卡］	Pa	1N/m^2	巴	bar	10^5Pa	工程大气压	at	9.80665 $\times10^4$Pa

物理量		法定单位			许用非法定单位			非许用单位		
名称	符号	名称	符号	换算	名称	符号	换算	名称	符号	换算
应力					标准大气压	atm	1.01325×10^5Pa	毫米汞柱	mmHg	133.322Pa
								毫米水柱	mmH_2O	9.80665Pa
								托	Torr	133.322Pa
								千克力每平方厘米	kgf/cm^2	9.80665×10^4Pa
								磅力每平方英尺	lbf/ft^2	47.8803Pa
热力学温度	T	开〔尔文〕	K					兰氏度	°R	9/5K
摄氏温度	t	摄氏度	℃	K−273.15				华氏度	°F	9/5K−459.67
能量 功 热	E，(W) W，(A) Q	焦〔耳〕	J	1N·m				卡蒸汽，卡	cal_{IT}，cal	4.1868J
		电子伏	eV	1.602189×10^{-19}J				卡热化学	cal_{th}	4.1840J
		千瓦〔小〕时	kW·h	3.6×10^6J				千克力米	kgf·m	9.80665J
								尔格	erg	10^{-7}J
								马力小时		2.64779×10^6J
								电工马力小时		2.68560×10^6J
								英马力小时		2.68452×10^6J
								英热单位	Btu	1055.06J
功率	P	瓦〔特〕	W	1J/s	伏安	V·A	1W	千克力米每秒	kgf·m/s	9.80665W
					乏	var	1W	马力		735.499W
								电工马力		746W
								英马力		745.700W
								卡每秒	cal/s	4.1868W
								英热单位每小时	Btu/h	0.293072W
平面角	α	弧度	rad					冈	gon	π/200rad
		〔角〕秒	″	π/648000 rad						
		〔角〕分	′	π/10800 rad						
		度	°	π/180rad						
立体角	Ω	球面度	sr							
时间	t	秒	s		年	a				
		分	min	60s	月					
		〔小〕时	h	3600s	周(星期)					
		天，〔日〕	d	86400s	回归年	a_{trop}	365.24220d=31556926s			

物理量		法定单位			许用非法定单位			非许用单位		
名称	符号	名称	符号	换算	名称	符号	换算	名称	符号	换算
频率	$f,(\nu)$	赫〔兹〕	Hz	$1\ s^{-1}$						
速度	u,v,w	米每秒	m/s					英尺每秒	ft/s	0.3048m/s
								英寸每秒	in/s	0.0254m/s
		公里每小时	km/h	0.27m/s				英里每小时	mile/h	0.44704m/s
		节	kn	0.514444 m/s						
旋转速度	n	每秒	s^{-1}						rpm	$(1/60)s^{-1}$ $=1r/min$
		转每分	r/min	$(1/60)s^{-1}$						
加速度	a	米每二次方秒	m/s^2		伽	Gal	$10^{-2}m/s^2$	英尺每二次方秒	ft/s^2	$0.3048m/s^2$
力矩	M	牛〔顿〕米	N·m					千克力米	kgf·m	9.80665N·m
								磅力英尺	1bf.ft	1.35582N·m
密度	ρ	千克每立方米	kg/m^3					磅每立方英尺	$1b/ft^3$	16.0185 kg/m^3
线密度	ρt	千克每米	kg/m					旦〔尼尔〕	denier	0.111112 $\times10^{-6}kg/m$
		特〔克斯〕	tex	$10^{-6}kg/m$				磅每英尺	1b/ft	1.48816kg/m
比体积	v	立方米每千克	m^3/kg					立方英尺每磅	$ft^3/1b$	0.0624280 m^3/kg
质量流率	qm	千克每秒	kg/s					磅每秒	1b/s	0.453592 kg/s
体积流率	qv	立方米每秒	m^3/s					立方英尺每秒	ft^3/s	0.0283168 m^3/s
转动惯量	I	千克二次方米	$kg·m^2$					磅二次方英尺	$1b·ft^2$	0.0421401 $kg·m^2$
动量	p	千克米每秒	kg·m/s					磅英尺每秒	1b·ft/s	0.138255 kg·m/s
角动量	L	千克二次方米每秒	$kg·m^2/s$					磅二次方英尺每秒	$1b·ft^2/s$	0.0421401 $kg·m^2/s$
〔动力〕粘度	$\eta,(\mu)$	帕〔斯卡〕秒	Pa·s					泊	P	0.1Pa·s
								伯肃叶	Pl	1Pa·s
								千克力秒每平方米	$kgf·s/m^2$	9.80665Pa·s
								磅力秒每平方英尺	$1bf·s/ft^2$	47.8803Pa·s
运动粘度	ν	二次方米每秒	m^2/s					斯〔托克斯〕	st	$10^{-4}m^2/s$
								二次方英尺每秒	ft^2/s	9.29030 $\times10^{-2}m^2/s$

物理量		法定单位			许用非法定单位			非许用单位		
名称	符号	名称	符号	换算	名称	符号	换算	名称	符号	换算
比能	u	焦〔尔〕每千克	J/kg					千卡每千克	kcal/kg	4186.8J/kg
								英热单位每磅	Btu/1b	2326J/kg
热　容	C	焦〔耳〕每开〔尔文〕	J/K					卡　诺	carnot	1J/K
比热容 比　熵	c s	焦〔耳〕每千克开〔尔文〕	J/(kg·K)					千卡每千克开〔尔文〕 英热单位每磅华氏度	kcal/(kg·K) Btu/(1b·F)	4186.8J/(kg·K) 4186.8J/(kg·K)
传热系数	h	瓦〔特〕每平方米开〔尔文〕	W/(m²·K)					千卡每平方米〔小〕时开〔尔文〕 英热单位每平方英尺〔小〕时华氏度	kcal/(m²·h·K) Btu/(ft²·h·F)	1.163W/(m²·K) 5.67826W/(m²·K)
热导率	λ	瓦〔特〕每米开〔尔文〕	W/(m·K)					千卡每米〔小〕时开〔尔文〕 英热单位每英尺〔小〕时华氏度	kcal/(m·h·K) Btu/(ft·h·F)	1.163W/(m·K) 1.73073W/(m·K)
电　流	I	安〔培〕	A							
电荷量	Q	库〔仑〕	C	1s·A						
电　位 电　压 电动势	V，φ U E	伏〔特〕	V	1W/A						
电　容	C	法〔拉〕	F	1C/V						
电流线密度	A	安〔培〕每米	A/m					楞　次	lenz	1A/m
电　感	L，M	亨〔利〕	H	1Wb/A						
电　阻	R	欧〔姆〕	Ω	1V/A						
电　导	G	西〔门子〕	S	1A/V				姆　欧	Ω⁻¹	1S
磁位差 磁通势	U_m F，F_m	安〔培〕						吉　伯	Gb	0.7958安匝
磁通量密度 磁感应强度	B	特〔斯拉〕	T	1Wb/m²				高　斯 伽　马	Gs，G γ	≙10⁻⁴T ≙10⁻⁹T（地磁场强度）
磁通量	ϕ	韦〔伯〕	Wb	1V·s				麦克斯韦	Mx	≙10⁻²Wb
磁场强度	H	安〔培〕每米	A/m					奥斯特	Oe	≙(1000/4π)A/m
物质的量	n	摩〔尔〕	mol							
物质B的浓度	CB	摩〔尔〕每立方米 摩〔尔〕每升	mol/m³ mol/L	≙10³mol/m³				克分子浓度 当量浓度	M N	1M≙1mol/L=10³mol/m³ 1N≙1mol/L×离子价数

第二章　采矿制图与图纸编号

第一节　采矿制图

一、制图一般规定

(一)图幅

设计图纸的幅面尺寸,一般须符合(GB 126－74)的规定,见表 1－2－1。若需增加幅面尺寸时,可按表 1－2－1 加长各种幅面的长边(0 号及 1 号图纸幅面允许加长两边),其加长量应按 5 号图幅相应的长边或短边尺寸成整数倍增加,如图 1－2－1 所示。

表 1－2－1

图幅代号	0	1	2	3	4	5
B × L	841 × 1189	594 × 841	420 × 594	297 × 420	210 × 297	148 × 210
C	10			5		
a	25					

(二)图签(标题栏)

1. 图签(标题栏)　(图 1－2－2)

2. 会签栏(图 1－2－3)

会签栏一般在图签(标题栏)附近。

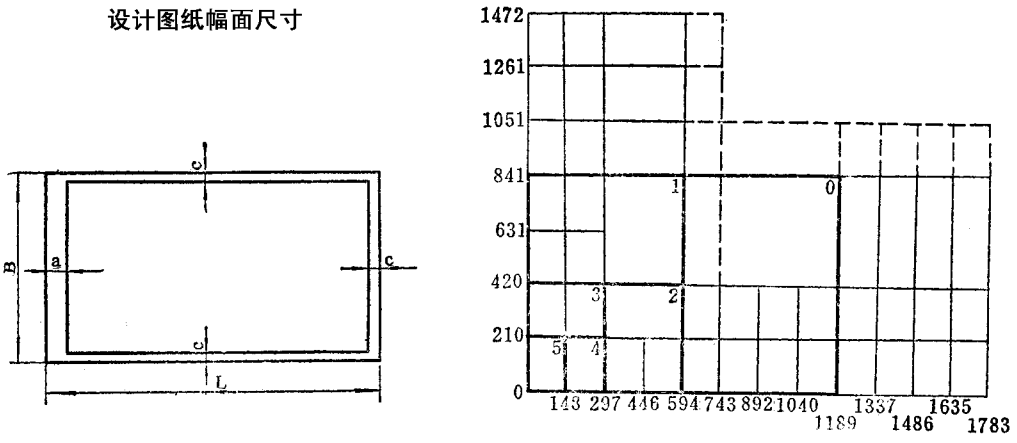


图 1－2－1　图幅加长关系

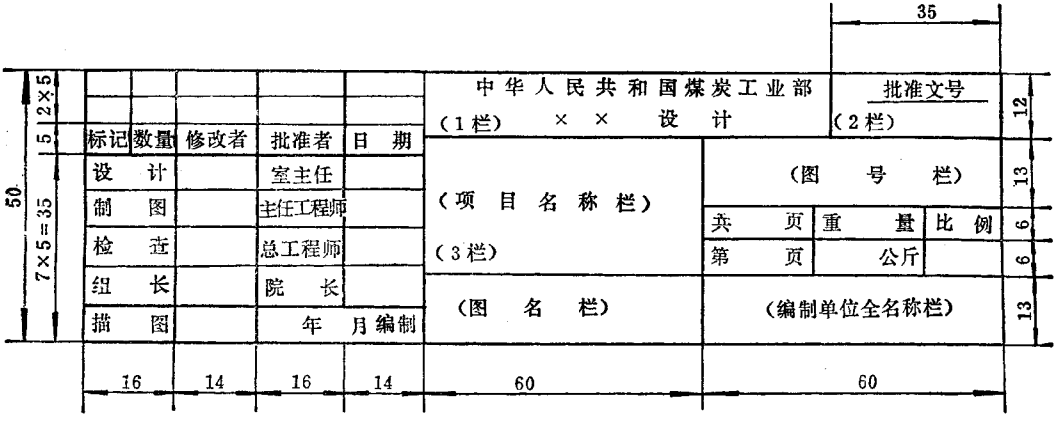


图 1－2－2　图签(标题栏)格式

说明：

(1)编制年、月，系指该项设计完成的日期，此栏由设计人员填写。

(2)项目名称栏内，如系总图则填写编制项目的全名称 如系零部件图则填写零部件的名称。

(3)图名栏内，按习惯填写总图、首图、平面图、布置图、剖面图、部件图、分部件图等 如系零件图，则此格填写零件材料代号，如 HT 15－33 等。

(4)批准文号栏为标准设计用，在接到批准文后及时填写，此栏只在总图图签上填写，零部件图等不必填写。

(5)工程设计时，1 栏与 2 栏合并改为设计任务项目名称，3 栏改为单位工程或设备名称。

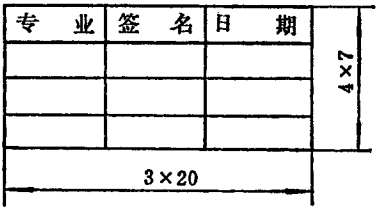


图 1－2－3　会签栏格式

(三)比例

1. 制图所用的比例应根据设计阶段、图纸的复杂程度按表 1－2－2 选取。

2. 如所需比例与表 1－2－2 规定还要缩小时应采用下式：

$1:10^n$，$1:2\times10^n$，$1:2.5\times10^n$，$1:5\times10^n$，此处 n 为正整数。

表 1－2－2　常用比例

图　名	常用比例	可用比例
矿区井田划分及开发方式图	平面 1:10000 剖面 1:2000	平面 1:50000 剖面 1:5000
井田开拓方式图，开拓巷道工程图，采区年进度计划图	平面 1:5000 剖面 1:2000	平面 1:10000，1:2000 剖面 1:5000
采区布置及机械配备图	平面 1:2000 剖面 1:2000	平面 1:5000
井底车场布置图	平面 1:500 断面 1:50	平面 1:1000
安全煤柱图	1:2000	
各种井筒	1:20	1:30，1:50
各种硐室	平面 1:50，1:100， 断面 1:50， 剖面 1:50，1:100	平面 1:200 剖面 1:200
采区车场	平面 1:200， 断面 1:50， 剖面 1:200	平面 1:500，1:100 剖面 1:100
各种详图	1:2，1:5，1:10	

3. 在图纸上比例的标注形式如下：

$$\frac{\text{平面图}}{1:2000}$$

4. 一张图纸上采用一种比例绘制时，只在图签(标题栏)内标注比例，如用两种或两

种以上的比例绘制时，应分别将比例标注在图形上方，并将主要图形的比例标注在图签（标题栏）内。

（四）字体及书写方法

1. 所有图纸和技术文件中书写的汉字、数字、字母均须字体端正，笔划清楚，排列整齐。

汉字一般应采用长仿宋体，并应采用国家正式公布的简化字。

2. 在设计图纸和技术文件中所有涉及数量的数字，均用阿拉伯数字表示，其计量单位应采用国家正式公布的符号或中文名称。

（五）字母代号

1. 图纸和技术文件中常用数量的名称，规定使用字母代号见表 1－2－3。

2. 在标注总量时，其名称代号最好采用大写字母。

3. 各种图纸及与图纸有关的设计文件，所用的字母代号必须一致。

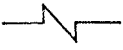
（六）图线及画法

1. 绘图时应采用表 1－2－4 中规定的图线。图框、图签（标题栏）、明细表、曲线图、示意图及表格中的直线，以及其它不直接属于图形的图线，其宽度可在 b～b/4 的范围内选取。

表 1－2－3　字母代号

名　称	字母代号	名　称	字母代号
长　度	L、l	容重	γ
宽　度	B、b	巷道净断面	S
高　度	H、h	巷道掘进断面	S_1
厚　度	M，m	巷道净周长	P
直　径	D、d	巷道壁厚	T
半　径	R、r	巷道拱厚	d_0
体　积	V	充填厚度	δ
面　积	F	曲线长	K_p
角　度	α、β、γ、δ、θ	切线长	T
重　量	G、g	风量	Q
经　距	Y	风速	v
纬　距	X	巷道摩擦阻力系数	α
标　高	Z	通风阻力	R
年 产 量	A	水量	Q

表 1－2－4　图线的画法

线　型	图线宽度	图线名称	图线使用举例
	b	粗实线	1. 主要可见轮廓线； 2. 主要可见过渡线
	b/2	较细实线	1. 次要可见轮廓线； 2. 次要可见过渡线
	b/4 或更细	细实线	1. 尺寸线； 2. 尺寸界线； 3. 剖面或断面线； 4. 引出线； 5. 范围线
	b/2～b/3	波浪线	1. 断裂线； 2. 局部剖面(断面)或局部放大的边界线
	b/4 或更细	折断线	长距离的断裂线
	b/2～b/3	虚线	不可见的轮廓线
	b	剖切线	剖面或断面的剖切线
	b/4 或更细	点划线	1. 轴线； 2. 中线
	b/4 或更细	双点划线	1. 剖面图中表示被剖切去的部分形状的假想投影轮廓线； 2. 运动件在极端位置或中间位置的轮廓线； 3. 不属于本专业的物体位置轮廓线

2. 图纸中所有图线的宽度，要根据所采用的标准实线的宽度‘b’而定，b 的数值应在 0.4～1.2 毫米的范围内选取。

3. 图线的宽度要根据图形的大小和复杂程度来选取，在同一图纸上按同一比例绘制图形时，其同类图线的宽度应保持一致。

4. 剖切线的线段长度，应根据图形的大小来决定，一般为 5～20 毫米，特殊的在 5～40 毫米范围内选取。

5. 虚线的线段长度，一般为 2～6 毫米，线段间的间隔为其长度的 1/2～1/4，同时各线段长度应大致相等，若线条加粗，线段也相应加长。

6. 点划线和双点划线的线段长度，一般为 20～50 毫米，各线段间的间隔为其长度的 1/5～1/7。各线段长度应大致相等。点划线的点应为短线，其长度大致为 1 毫米。

7. 各类线型的划法：

(1)尺寸线的绘制见图 1－2－4。

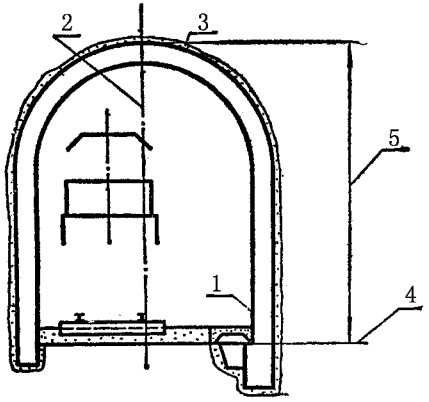


图 1－2－4　主要线条表示

1—可见轮廓线；2—中线；3—波浪线；4—尺寸界线；5—尺寸线

(2)折断线和波浪线一般可徒手绘制，如图 1－2－5 及图 1－2－6；其它各种线条一律用仪器绘制。



图 1－2－5　折断线

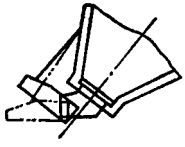


图 1－2－6　不属于采矿专业的物体位置轮廓线

(3)虚线和虚线或者点划线和点划线应相交于线段中间，两端应以线段收尾，并应超出物体轮廓界线之外 4～5 毫米，如图 1－2－7a、b。

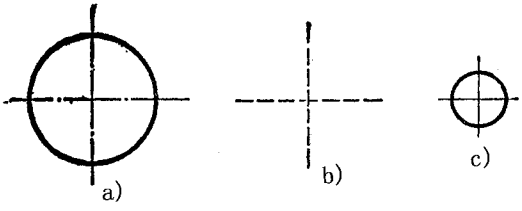


图 1－2－7　十字相交线

(4)直径小于 12 毫米的圆,其中线可画成实线,如图 1－2－7c。

(5)虚线成为实线的连接线时,应留出一段空隙,但两者成某一角度相交时,接合处不应留出空隙,如图 1－2－8。

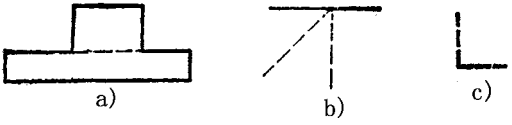


图 1－2－8　虚实线相接及虚线相交

(6)假想投影轮廓线见图 1－2－9。

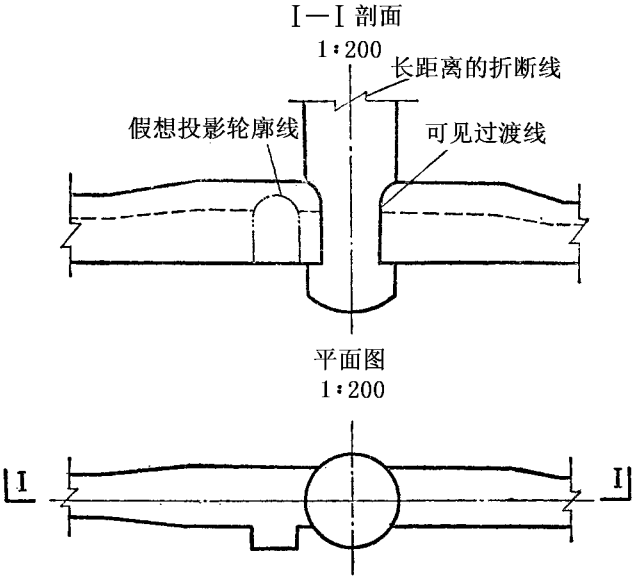


图 1－2－9　假想投影轮廓线

(七)剖面(断面)线的画法

1. 常用材料剖面(断面)线的画法(表 1－2－5)。

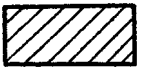
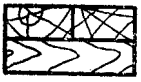
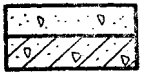
2. 其他未列入的剖面(断面)线的画法可参照有关标准绘制。

3. 剖面(断面)线间的间距大小,应根据剖面(断面)面积大小及与其相邻材料的剖面(断面)线相区别的原则来决定。

4. 金属的断面较小时,允许在断面上涂色,以代替剖面线。

5. 沿井筒、巷道、硐室横向剖切的图形按采矿专业习惯称断面。沿井筒、巷道、硐室纵向剖切的图形以及沿井田、采区等剖切的图形,统称剖面。

表 1－2－5　常用材料剖面线的画法

材料名称	剖面(断面)线	说　　明
金　属		剖面(断面)线间,距离为 1～3 毫米的平行线,倾斜角度为 45°,线条为细实线
普通砖 耐火砖		剖面(断面)线间,距离为 2～6 毫米的平行线,倾斜角度为 45°,线条为细实线
木材：横断面 纵剖面		徒手画
混凝土：砌块或浇灌 钢筋混凝土		点和小圆徒手画,剖面(断面)线间距离为 2～6 毫米的平行线,倾斜角度为 45°,线条为细实线
料　　石		空白

(八)尺寸注法

1. 图纸上的尺寸数字,规定以毫米或米为单位,(在 1∶50～1∶500 比例的图纸上采用毫米为单位,在 1∶1000～1∶10000 比例的图纸上采用米为单位)。如不按照上述规定时,则必须在各尺寸数字右边加注所采用计量单位,同时在图纸附注中均应注明单位。

2. 每个尺寸一般在图纸上标注一次,仅在特殊情况下或实际需要时方可重复标注。

2. 尺寸数字应尽可能注在图形轮廓线的外面。

4. 尺寸数字应注在尺寸线的上面或尺寸线的断开处,在一张图纸上尺寸注法必须一致。

5. 尺寸线的两端一般画出双箭头,以表示尺寸的起迄;尺寸界线应超过尺寸线箭头末端约 5 毫米;尺寸线与轮廓线之间或尺寸线与尺寸线之间的距离,一般为 5～7 毫米;如图 2－1－10 所示。

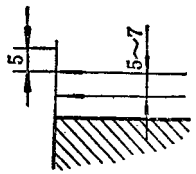


图 1－2－10　尺寸线画法

6. 尺寸数字不可被图纸上任何图线所分开或通过，如不能避免时，可将图线断开，如图 1－2－11 所示。

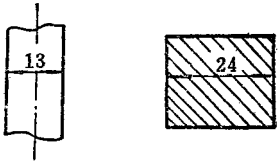


图 1－2－11　数字被图线切断注法

7. 尺寸数字应遵守图 1－2－12 所规定的方向填写，应尽量避免在有斜线的‘30°’范围内标注尺寸数字。

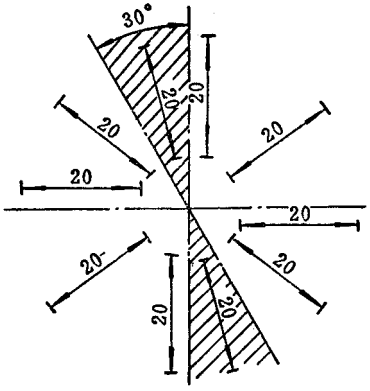


图 1－2－12　斜线尺寸注法

8. 当两条尺寸界线之间没有足够地方填写尺寸数字和画箭头时，可按图 1－2－13 方法标注。

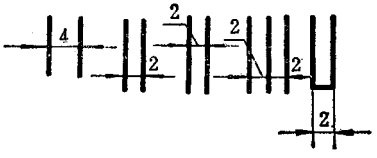


图 1－2－13　特殊情况尺寸注法

9. 距离相等的尺寸可按图 1－2－14 方法标注。

10. 尺寸线应与所标注的图形轮廓线平行，总尺寸线应画在分尺寸线的外边，如图 1－2－15 所示。

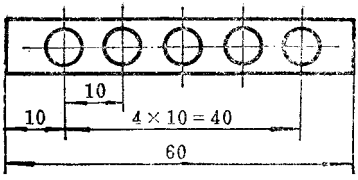


图 1－2－14　等距离尺寸注法

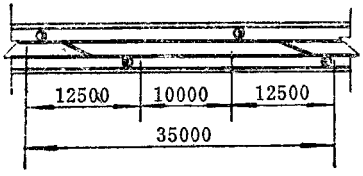


图 1－2－15　双排线尺寸注法

11. 曲线、弦长、弧长分别按图 1－2－16a、b、c 的方法标注。

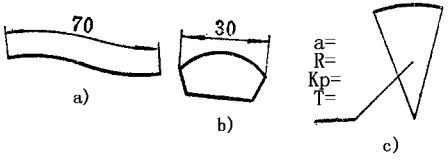


图 1－2－16　曲线尺寸注法

12. 直径、半径标注尺寸时，应在数字前加注字母代号“D、d”或“R、r”，如图 1－2－17 所示。

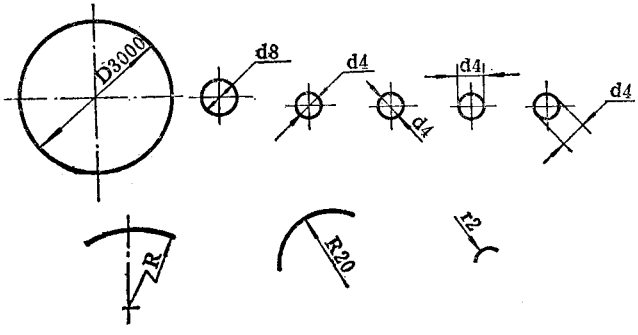


图 1－2－17　圆形尺寸注法

13. 标注角度数字时，数字必须水平地填写在尺寸线的中断处或尺寸线上面；当没有足够的位置时，可将角度的数字标注在引出线上，如图 1－2－18 所示。

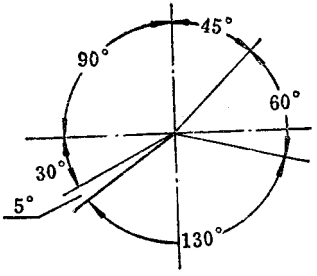


图 1－2－18　角度注法

14. 标注标高时一律采用‘米’为单位，即零点标高 ±0.000；正数标高 +5.000；负数标高 −5.000。标高符号采用倒三角形，右半边涂黑，数字写在横线上；标高数字一般写在图形右侧，在数字前写名称，如图 1－2－19 所示。

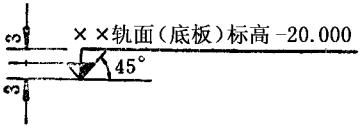


图 1－2－19　标高尺寸注法

15. 在一张图纸上有两个或两个以上图形时，尺寸应详尽标注在主要图形上，辅助图形只标注相关位置尺寸；如辅助图形不在一张图上，则应在该图形上也详尽标注尺寸。

（九）图纸上序号的注法

1. 图纸上各组成部分（零件、部件）的序号，应标注在图形的轮廓线外边，序号必须注在引出线的横线上或小圆中，如图 1－2－20 所示，在个别情况下允许将序号用上述方法注在图形的轮廓线内。

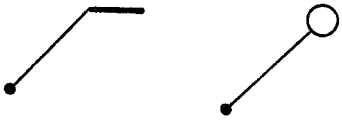


图 1－2－20　图纸上序号注法

2. 序号应注在可见投影的图形上。

3. 序号在图纸上只注一次，相同部件重复出现时，可重复注出，但必须用同一序号表示。

4. 标注序号时，各横线和小圆须排列成与主标题栏平行或垂直的行列，每种行列应尽可能排在一条直线上，如图 1－2－21。

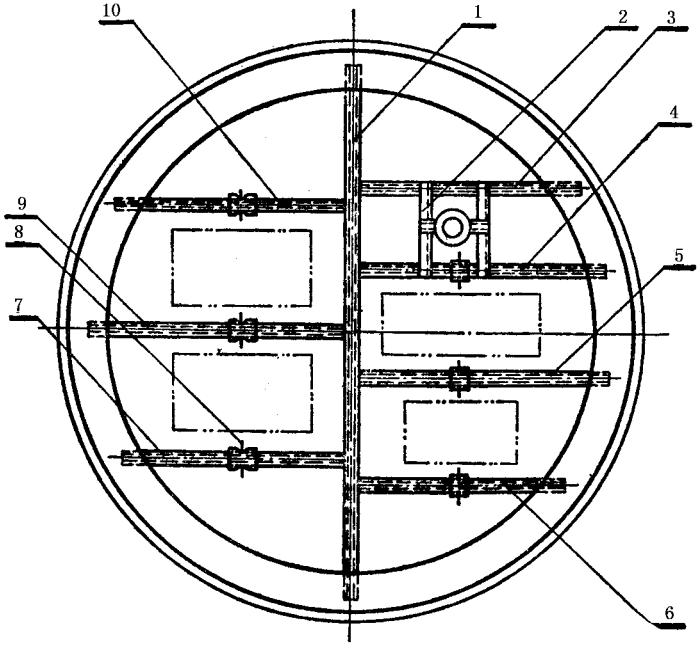


图 1－2－21　部件序号排列方法

5. 允许同一紧固部位的紧固件组使用一条引线。

6. 允许相同部件的引线使用一条横线。

7. 序号排列依顺时针或逆时针方向排列，但只能有一个方向，如在一张图纸上有几个图形时，序号排列方向应一致。

8. 序号的字体，须大于图纸上的尺寸数字的字体。

9. 序号的引出线用细实线绘制，数条引出线，一般应互相平行，序号的引出线上的横线或小圆用标准实线绘制，如图 1－2－21。

10. 引出线的一端须指在所画部件的投影内，并在此端顶点一般画圆点，其另一端与标注序号横线或小圆相接，如图 1－2－21。

二、图例

(一)说明

1. 在复制地质图时，仍采用原地质图例进行复制；需要在复制图中增添设计内容时应按采矿专业的图例绘制。

2. 同一张图纸应采用统一的图例。

3. 在采区布置及机械配备图中，为了区别移交生产和达到设计产量时两个阶段，除

按规定图例绘制图纸外，可在达到设计产量的有关巷道部分涂上颜色，以示区别。

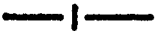
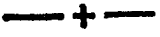
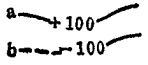
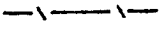
4. 绘制 1∶500～1∶5000 比例的剖面图时，剖切到的井巷，用单实线表示；没有剖切到的井巷，当井巷在剖切线的前面，用虚线表示；井巷在剖切线的后面用双点划线表示。

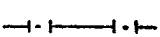
5. 图例的线条粗细以毫米为单位。

(二)图例

1. 储量计算图(表 1－2－6)

表 1－2－6　储量计算图

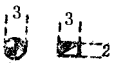
名　称	符　号	说　明
勘探境界线		
井田境界线		
煤柱边界线		
采区边界线		
煤层露头线及煤层氧化带和煤层风化带		a、煤层露头线 b、煤层风化带 c、煤层氧化带
煤层底板等高线		a、探明 b、推断
平衡表内储量块段		上部 块段号和级别； 中左 煤层真厚度； 中右 煤层平均倾角； 下部 块段水平面积
平衡表外储量块段		
储量等级，A 级线		两储量块段相邻时，只用高一级块段的线表示
储量等级，B 级线		

名　称	符　号	说　明
储量等级，C 级线		两储量块段相邻时，只用高一级块段的线表示
储量等级，D 级线		
煤层高灰分区		向左成 45°倾斜的平行直线，三条一组
煤层不可采区		适用于储量图
煤层尖灭边界		
煤层高硫分区		向左成 45°倾斜的平行线，中间画“S”
采空区		按实际情况绘制，在范围内侧涂 5～10 毫米黑色影线
煤层可采边界线	可采部分 不可采部分	
煤层合并边界线	分开部分 合并部分	
开采计划 （按工作面）	②-3-1 7.5	② 开采年度； 3 工作面编号； 1 工作面衔接号； 7.5 回采产量（万吨）； → 回采方向
开采计划 （按采区）	Ⅱ-(26-28) 75-25	Ⅱ 开采单元编号； (26－28) 开采起止年份； 75 开采区域可采储量（万吨）； 25 开采单元年采掘煤量（万吨）； → 回采方向
指北针	北	根据图纸大小自行确定但箭头宽与长之比为 1:3
村　庄		按实物缩制

名　称	符　号	说　明
河　流		按实物绘制，凡留有煤柱的沟、谷等均采用此符号表示

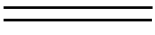
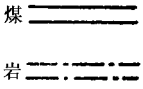
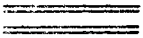
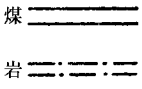
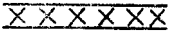
2. **井筒(表** 1－2－7**)**

表 1－2－7　**井筒**

名　称	比　例			说　明
	1:200 1:500	1:1000 1:2000	1:5000 1:10000	
圆形立井				
矩形立井				
斜井				
平硐				
生产小窑				
报废小窑				
溜煤眼				

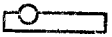
3. **巷道(表** 1－2－8**)**

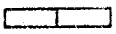
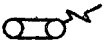
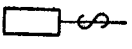
表 1－2－8　巷道

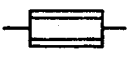
名　称	比　例		说　明
	1:50～1:500	1:1000～1:10000	
煤层或岩层巷道			投影及倾斜巷道用虚线表示
煤层或岩层砌碹巷道			
利用的已施工巷道			
不利用的已施工巷道			

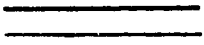
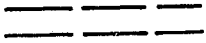
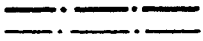
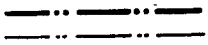
4. **采掘运机械设备(表 1－2－9)**

表 1－2－9　采掘运机械设备

名　称	符　号	说　明
双滚筒采煤机		
单滚筒采煤机		
刨 煤 机		
支撑式液压支架		
掩护式液压支架		
支撑掩护式液压支架		
可弯曲刮板输送机		
刮板输送机		

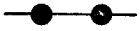
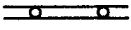
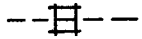
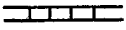
名　　称	符　　号	说　　明
溜槽		
钢丝绳胶带输送机		
吊挂胶带输送机		
胶带输送机		
转载机		
岩石电站		
煤电站		
锚杆打眼机		
凿岩机		
风镐		
11.0kW 局部通风机		
5.5kW 局部通风机		
装煤机		
装岩机		
掘进机		
探水钻		
小水泵		

名　称	符　号	说　明
蓄电池机车		
小矿车		
JT800/600 型绞车		
JT1200/1030 型绞车		
JH_2-14 回柱绞车		
JH－8 回柱绞车		
JD－4.2 调度绞车		
JD－11.4 调度绞车		
无极绳绞车		
单轨吊车		
空气压缩机		
锚杆安装机		
喷混凝土机		
喷浆机		
推车机		
翻车机		
转车盘		

名　称	符　号	说　明
阻车器		
道岔		圆圈画在设置手把一边,向岔路方向涂黑
24 公斤/米 钢轨		用于轨道运输系统图粗线为移交生产,细线为达到设计产量
18 公斤/米 钢轨		
15 公斤/米 钢轨		
11 公斤/米 钢轨		

5. **采掘循环图表(表** 1 – 2 – 10**)**

表 1 – 2 – 10　**采掘循环图表**

名　称	符　号	说　明	名　称	符　号	说　明
打煤眼			打岩眼		
放炮			移风管		
支柱			支木垛		
运料			回收木垛		
回柱放顶			刨煤机刨煤		
移输送机			开缺口		
装煤、运煤			采煤机割煤		
打密集支柱			采煤机下放		

名　称	符　号	说　明	名　称	符　号	说　明
准备及检修			风镐采煤		
移支柱			铺金属网及底梁		
移支架					

6. **通风与安全(表** 1－2－11**)**

表 1－2－11　**通风与安全**

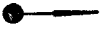
名　称	比　例		说　明
	1:50～1:500	1:1000～1:5000	
进　风			
回　风			
风　门		a b	a 型用于通风系统图
调节风门		a b	同上
风　帘	a b		a 型用于通风系统图
风　桥			
密　闭			
岩粉棚			
水　幕			

名　称	比　例		说　明
	1:50 ~ 1:500	1:1000 ~ 1:5000	
离心式通风机			
轴流式通风机			
防水闸门			
栅栏门		不表示	
防火门			
密闭门			
栅栏防火两用门			

7. **其它图例(表** 1 – 2 – 12)

表 1 – 2 – 12　**其他**

名　称	符　号	说　明
坡　度		
金属网假顶		
木板假顶		
竹笆假顶		

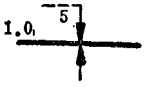
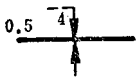
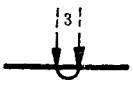
名　　称	符　　号	说　　明
荆笆假顶		
冒顶区		当面积大时，只涂范围内侧 10 ~ 20 毫米
回采工作面推进方向		
煤的重车方向		
岩石的重车方向		
空车方向		
材料设备车方向		
工程量计算段号		
巷道与轨道坡度段号		
水沟纵断面坡度线		
轨道纵断面坡度线		

（三）常用地质图例

1. 褶皱（表 1 – 2 – 13）

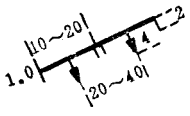
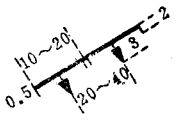
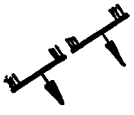
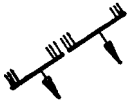
表 1 – 2 – 13　褶皱

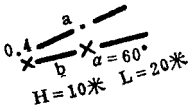
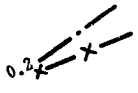
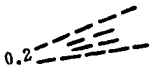
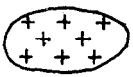
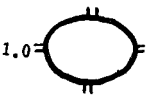
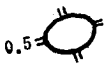
名　　称	比　　例		说　　明
	1∶1000 ~ 1∶5000	1∶10000 ~ 1∶50000	
地层或矿体产状			横线表示地层的走向，垂线表示地层的倾向，并注明测量的倾角

名　　称	比　　例		说　　明
	1∶1000 ~ 1∶5000	1∶10000 ~ 1∶50000	
直立地层或矿体产状			箭头方向表示岩层顶面
水平地层或矿体产状			
倒转地层或矿体产状			箭头方向表示岩层顶面
实测向斜轴			箭头方向表示岩层的倾斜面
推断向斜轴			
实测背斜轴			箭头方向表示岩层的倾斜面
推断背斜轴			
实测倒转向斜轴			箭头方向表示岩层的倾斜面
推断倒转向斜轴			
实测倒转背斜轴			
推断倒转背斜轴			

2. **断裂(表** 1 – 2 – 14**)**

表 1－2－14　断裂

名　称	比　例		说　明
	1:2000 ~ 1:5000	1:10000 ~ 1:50000	
实测正断层			箭头指示断层面的倾斜方向,单个短线表示正断层,并指示地层下降的一侧
推断正断层			
实测逆断层			
推断逆断层			
实测逆掩断层			
推测逆掩断层			
实测平移断层			箭头所指方向表示断层位移方向
推断平移断层			

名　称	比　例		说　明
	1:2000 ~ 1:5000	1:10000 ~ 1:50000	
实测旋转断层			箭头表示断层倾斜方向
推断旋转断层			
断层之上下盘			a—上盘；b—下盘；(适用于煤层等高线及储量计算图) α—倾角；H—落差；L—错距
断层裂隙带			中间表示裂隙地带
环状陷落			推断用虚线表示
火成岩侵入体			火成岩侵入体的何种岩石应根据地质资料绘制
环状凸起			推断用虚线表示

3. **钻探(表** 1 – 2 – 15)

表 1 – 2 – 15　**钻探**

名　称	比　例		说　明
	1:2000 ~ 1:5000	1:10000 ~ 1:50000	
机钻孔(计划)			钻孔按剖面线编号，如Ⅰ、Ⅱ$_1$、Ⅱ$_2$……等钻孔在地质图上 左边注孔号，右边注孔口标高。在储量图上：左边注孔号 孔口标高，右边注煤层真厚度
机钻孔(未见煤)			
机钻孔(见煤)			

名　称	比　例		说　明
	1:2000 ~ 1:5000	1:10000 ~ 1:50000	
计划槽探			
竣工槽探			
计划探井			
施工探井			
竣工探井			
计划探坑			
施工探坑			
竣工探坑			

第二节　图纸编号

一、图纸分类及符号

(一)说明

1. 为了加强设计管理和使用方便,并照顾历史习惯,图纸编号仍采用固定图号的编制方法,分矿井、露天、选煤厂、矿区机电修配厂及火药厂五部分统一编制固定图号以(79)煤设字第 1175 号颁发。

2. 矿区辅助企业和附属设施的固定图号,合并在矿井中,不作为独立部分出现。

3. 矿井选煤厂及露天矿选煤厂的固定图号,采用选煤厂固定图号。与矿井或露天合用的单位工程则采用矿井或露天的固定图号。其它方面亦可类推。

4. 为了减少同类固定图号，将有些单位工程或设备归类，采用一个固定图号，如各种给煤机、筛分机、漏斗等。

5. 一些附属性设备如工作台、架子等不单设固定图号，合并入主导设备图号中。

6. 图纸名称依据煤炭工业设计规范，并照顾习惯用法。

(二)设计图纸的分类和符号

各类设计图纸的分类和符号，见表 1－2－16、表 1－2－17。

表 1－2－16　图纸分类和符号

图纸类别	设计阶段				备注
	总体设计	初步设计	技术设计	施工图	
工程设计	Z	C	J	S	各设计阶段中出现方案设计时，可在其后添写字母 F，如总体中的方案设计符号为 ZF，单独的方案设计则用 F。 工程设计的可行性研究不分阶段，其图号的号首符号均用‘K’表示
通用设计	—	TC	TJ	T	
标准设计	—	BC	BJ	B	

表 1－2－17　工程类别代号

工程类别名称	代号
总体设计	0
矿井设计	1
选煤厂设计	2
矿区机电修配厂设计(包括汽车修理厂)	3
露天矿设计	4
输配电设计	5
铁路设计	6
供水设计	7
火药厂设计	8
其它工程设计	9

注：其它工程设计系指本表 0～8 以外的，如矿区辅助企业和矿区附属设施等以及有关单位工程设计。

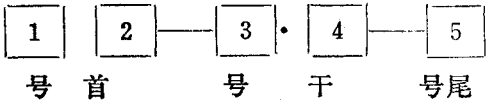
(三)图号组成

整个图号由号首、号干和号尾三部分组成，彼此间用短横线隔开，例如：

S1003－161·1－1

号首　号干　号尾

按其相应位置分成五段加以说明



1. 号首

号首由两段组成：

1 ——号首的第一段表示图纸类别和设计阶段的符号，按表 1－2－16 选用。

2 ——号首的第二段。如系工程设计时，该段由四位数字组成。第一位数字为工程类别的代号，其规定见表 1－2－17，后三位数字为设计任务的序号，由各设计单位计划部门按工程类别各自排定，从 001 起按每一个任务序号顺序排列，如系部标准，通用设计时，该段用设计开始编制的年份的后两位数字组成。

号首的示例：S1003——表示工程设计中的施工图阶段矿井工程的第 3 项任务；

B74——表示 74 年开始编制的标准设计施工图。

2. 号干

号干由两段组成：

3 ——号干的第一段为固定图号或位置号。固定图号是按工程类别及各专业的单位工程或设备统一划分和排定的，见固定图号表。

各类设计中，同类而不同型的各种单位工程或设备，均采用同一的固定图号如各种型式的筛分机，固定图号为 349。各专业单位工程图纸，如果在固定图号表中没有相同名称的图号时，允许采用内容相近的固定图号，尽量避免补充新号。

为矿井井下硐室，地面各种建筑物和构筑物配套的动力配电、照明、给、排水、采暖及通风辅助工程等设计图纸，这一号段采用分数形式，分子为机电、水暖等专业的固定图号，分母为硐室、建筑物和构筑物的固定图号。

位置号是工程设计中机制专业的一种图纸编号方法，根据工艺系统对各结构部分统一排定的，因此在这些图纸的编号中，不用固定图号而以位置号编排图号。但单位工程的标准、通用设计图纸，仍采用固定图号。采用位置号时，为避免与固定图号相混，此类图号的号首和号干之间不用短横线而用圆点隔开。

4 ——号干的第二段表示系列品种的序号及同类设备或同类单位工程的序号。从 1 起编流水号，固定号与序号之间用圆点隔开。

如系部标准、通用设计，该系列品种的序号由编制单位提出，由煤炭工业部批准。只有一个品种的，不编制系列项目，该序号省略。

在同一工程中同类设备或同类单位工程有两个以上的项目时，用序号加以区别。

若固定图号为分数形式，则该序号从属于本专业的固定图号。

此外，有的附属企业设备或厂房只有一个固定图号，而其中的设备或厂房不止一项时，也采用顺序号加以区别，如矿区小型水泥厂设备，固定图号 558，其中各种设备（给料机、漏斗、溜槽等）的固定图号，可在 558 后面加顺序号·1、·2、·3……表示。

号干的示例：

（1）采用固定图号时，与号首的关系：

S1003－161，其中 161 为采区变电所硐室的固定图号，用短横线与号首隔开。

（2）采用位置号时，与号首的关系：

S1003·234，其中 234 为生产系统中某一设备的位置编号，用圆点与号首隔开。

（3）采用分数形式：

S1003－$\frac{214}{161}$，其中 161 为采区变电所硐室的固定图号，214 为变电所电气设备布置的固定图号。

（4）采用系列品种序号的形式：

B74－364·5，其中 364 为矿车的固定图号，5 代表三吨矿车。

3．号尾

5

——表示该张图纸在该项设计中的顺序编号。机制专业的总图，其号尾用 00 表示，以下按隶属关系编部件号，分部件号和零件号。一般分三段，每段分别从 01 起编流水号。其它专业，号尾均由 1 起编流水号。如不满足要求时，可按机制专业编号办法处理，但一套设计图纸中不应出现两种编号方法。

号尾的示例：

（1）一般专业的号尾：

S1003－161－1，号尾中的 1 表示第 1 张图。

（2）机制专业的号尾：

S1003－312－010311 号尾中的前两位数 01 表示第一部件图，中间两位 03 表示第三分部件图，最后两位 11 表示第十一张零件图。

4．修改已批准的设计时，应在修改图图号上按修改范围（单项、单位或某张图）加注 G1、G2、G3……等字样，以示修改次数的顺序。

例如单项工程设计修改时，则在任务号之后，加注修改顺序号，如原编号为 S1005，第一次修改后为：S1005G1；单项工程设计的某一单位工程设计的图纸需要修改时，则在固定图号之后加注修改顺序号，如原编号为 S1005－204，第一次修改后的编号为：S1005－204－01G1。

若一套设计中，仅个别图纸上有少数错漏现象需要修改时，则可不必在图号后边加注修改代号，但必须在图纸修改处和图签的专用栏内注明。

5. 改扩建工程和矿井延深工程的图号，按照第 4 条修改图的办法，在原工程图号的相应位置后边加注字母 K（改扩建工程）或 Y（延深工程）。

6. 施工图说明书、技术条件、计算书及预算书的图号，只写号首与号干。

7. 几个单位工程合并出图时，用主要单位工程的固定图号。

8. 图号编制方法示例：

（1）工程设计：

S1003－161－1，其中 S 示施工图，1 指矿井工程，003 为任务流水号，161 系采区变电所硐室的固定图号，号尾的 1 表示第一张图。

$S1003-\frac{214}{161}-5$，其中分母的 161 表示采区变电所硐室，分子 214 为变电所电气设备布置固定图号。

S1003·256－010311，其中 256 系位置号。

（2）通用设计：

$T75-\frac{214\cdot 2}{161}-3$，其中 T 示通用设计施工图，75 为一九七五年开始编制，214·2 中的·2 表示固定图号 214 项目的第二个品种或类型。

（3）标准设计：

B74－364·5－00，其中 B 表示标准设计施工图，74 表示一九七四年开始编制，364 为矿车的固定图号，·5 表示系列品种序号（三吨矿车），00 机制专业的总图。

二、固定图号

矿井设计固定图号划分范围见表 1－2－18；固定图号见表 1－2－19。

表 1－2－18　矿井设计固定图号划分范围

固定图号	专　业　范　围
101～180	采矿专业
181～200	施工组织专业

固定图号	专　业　范　围
201 ~ 300	机电专业
301 ~ 400	机制专业
401 ~ 500	工艺布置和总图运输专业
501 ~ 600	矿区辅助企业
601 ~ 800	土建专业
801 ~ 900	水、暖专业
901 ~ 950	矿区附属设施
951 ~ 999	工程地质备用号

表 1 – 2 – 19　矿井设计固定图号

固定图号	图　　名
101	矿区交通位置图
102	区域地质地形图
103	井田地形地质图
104	地质断面图
105	煤层底板等高线及储量计算图
106	安全煤柱图
107	柱状图
108	与邻近矿井关系图
109	井田开拓方式图
110	开拓巷道工程图
111	主井井筒*
112	主井井筒与井底车场连接处
113	
114	
115	
116	副井井筒*
117	副井井筒与井底车场连接处
118	风井井筒(包括风硐、安全出口及防爆门框等)*
119	风井井筒与风道连接处
120	注砂井筒
121	井底车场布置图
122	巷道断面图
123	巷道交岔点

固定图号	图　　名
124	轨道运输系统图
125	
126	矿区井田划分及开发方式图
127	
128	液压站硐室
129	
130	
131	主排水泵房
132	主排水泵房管子道
133	火药发放硐室
134	沉淀池硐室
135	
136	水仓及清理水仓硐室
137	主变电所
138	架线电机车库及修理间
139	消防材料库
140	井下火药库
141	防火门及防火、栅栏两用门硐室
142	密闭门硐室
143	等候室
144	调度室、医疗室、井下办公室
145	工具备品保管室
146	防水闸门硐室
147	推车机及翻车机硐室或自卸矿车卸载站硐室
148	井底煤仓及箕斗装载硐室
149	井下厕所
150	岩粉棚
151	各种壁龛及机械设备(包括防火、洒水、照明、电气或油水分离器等)硐室
152	空气压缩机硐室
153	蓄电池电机车库及充电硐室
154	
155	清理井底撒煤硐室及水窝泵房
156	采区水仓及沉淀池
157	采煤方法图

固定图号	图　　名
158	采区车场图
159	采区绞车房或无极绳绞车房
160	采区煤仓及溜煤眼
161	采区变电所
162	采区水泵房
163	采区布置及机械配备图
164	采区年进度计划图
165	井巷工程数量总表
166	
167	
168	
169	采区矸石仓
170	
171	通风系统图
172	风门、风桥、密闭等硐室
173	排放瓦斯工程
174	
175	
176	充填系统图
177	水力提升硐室
178	
179	
180	
181	矿区交通运输及附属企业分布图
182	井筒掘进时期地面施工工业场地布置图
183	巷道掘进时期地面施工工业场地布置图
184	井筒掘进设备布置及井口提升设备布置图
185	风井掘进设备布置及井口提升设备布置图
186	井巷工程施工进度图
187	井底车场施工进度图
188	移交生产时采区施工进度图
189	机电设备安装工程施工进度图
190	土建工程施工进度图
191	

固定图号	图　　名
192	
193	
194	
195	
196	
197	
198	
199	
200	

＊适用于立、平、斜井筒及暗井。

第三章　矿井开采抗震设计资料

第一节　简　　述

一、地震烈度

表 1－3－1　地震烈度

烈度	房　　屋	结 构 物	地 表 现 象	其 它 现 象
一度	无损坏	无损坏	无	无感觉。仅仪器才能记录到
二度	无损坏	无损坏	无	个别非常敏感的、且在完全静止中的人感觉到
三度	无损坏	无损坏	无	室内少数在完全静止中的人觉到振动，如同载重车辆很快地从旁驰过。细心的观察者注意到悬挂物轻微摇动
四度	门、窗和纸糊的顶篷有时轻微作响	无损坏	无	室内大多数人感觉，室外少数人感觉。少数人从梦中惊醒。 悬挂物摇动。器皿中的液体轻微振荡。紧靠在一起的、不稳定的器皿作响

烈度	房　屋	结构物	地表现象	其它现象
五度	门、窗、地板、天花板和屋架木榫轻微作响。开着的门窗摇动。尘土落下。粉饰的灰粉散落。抹灰层上可能有细小裂缝	无损坏	不流通的水池里起不大的波浪	室内差不多所有人和室外大多数人感觉。大多数人都从梦中惊醒。家畜不宁。 悬挂物明显地摇摆。挂钟停摆。少量液体从装满的器皿中溢出。架上放置不稳的器物翻倒或落下
六度	Ⅰ类房屋许多损坏，少数破坏（非常坏的房、棚可能倾倒）。 Ⅱ、Ⅲ两类房屋许多轻微损坏，Ⅱ类房屋少数损坏	牌坊，砖、石砌的塔和院墙轻微损坏。 个别情况下，道路上湿土中或新的填土中有细小裂缝	特殊情况下，潮湿、疏松的土里有细小裂缝。 个别情况下，山区中偶有不大的滑坡、土石散落和陷穴	很多人从室内跑出，行动不稳。家畜从圈中跑出。 器皿中的液体剧烈地动荡，有时溅出。 架上的书籍和器皿等有时翻倒或坠落。轻的家具可能移动
七度	Ⅰ类房屋大多数损坏，许多破坏，少数倾倒。 Ⅱ类房屋大多数损坏，少数破坏。 Ⅲ类房屋大多数轻微损坏，许多损坏（可能有破坏的）	不很坚固的院墙少数破坏，可能有些倒塌。较坚固的院墙损坏。 不很坚固的城墙很多地方损坏，有些地方破坏，堞墙少数倒塌。较坚固的城墙有些地方损坏。 牌坊，砖、石砌的塔和工厂烟囱可能损坏。 碑石和纪念物很多轻微损坏。 由于黄土崩滑，土窑洞的洞口遭受破坏。 个别情况下，道路上有小裂缝。 路基陡坡和新筑道路、土堤的斜坡上，偶有塌方	干土中有时产生细小裂缝。潮湿或疏松的土中，裂缝较多、较大 沙数情况下冒出夹泥沙的水。 个别情况下，陡坎滑坡。山区中有不大的滑坡和土石散落。土质松散的地区，可能发生崩滑。 水泉的流量和地下水位可能发生变化	人从室内仓惶逃出。 驾驶汽车的人也能感觉。 悬挂物强烈摇摆，有时损坏或坠落。轻的家具移动。书籍、器皿和用具坠落。

烈度	房　屋	结构物	地表现象	其它现象
八度	Ⅰ类房屋大多数破坏，许多倾倒。 Ⅱ类房屋许多破坏，少数倾倒。 Ⅲ类房屋大多数损坏，少数破坏（可能有倾倒的）	不很坚固的院墙破坏，并有局部倒塌。较坚固的院墙局部破坏。 不很坚固的城墙很多地方破坏，有些地方崩塌，堞墙许多倒塌。较坚固的城墙有些地方破坏，砖、石堞墙少数倒塌。 牌坊许多损坏。 砖、石砌的塔和工厂烟囱遭受损坏；不很坚固的破坏，甚至崩塌。 不很稳定的碑石和纪念物移动或翻倒。较稳定的碑石和纪念物很多损坏，有些翻倒。 路堤和路堑的陡坡上有不大的塌方。 个别情况下，地下管道的接头处遭受破坏	地上裂缝宽达几厘米。土质疏松的山坡和潮湿的河滩上，裂缝宽度可达 10 厘米以上。在地下水位较高的地区里，常有夹泥沙的水从裂缝或喷口里冒出。 在岩石破碎、土质疏松的地区里，常发生相当大的土石散落、滑坡和山崩。有时河流受阻，形成新的水塘。 有时井泉干涸或产生新泉	人很难站得住。 由于房屋破坏，人、畜有伤亡。 家具移动，并有一部分翻倒
九度	Ⅰ类房屋大多数倾倒。 Ⅱ类房屋许多倾倒。 Ⅲ类房屋许多破坏，少数倾倒	不很坚固的院墙大部倒塌。较坚固的院墙大部破坏，局部倒塌。 较坚固的城墙很多地方破坏，堞墙许多倒塌。 牌坊可能破坏。 砖、石砌的塔和工厂烟囱很多破坏，甚至倾倒。 较稳定的碑石和纪念物很多翻倒。 道路上有裂缝。有时路基毁坏。个别情况下，铁轨局部弯曲。 有些地方地下管道破裂或损伤	地上裂缝很多，宽达 10 厘米。斜坡上或河岸边疏松的堆积层中，有时裂缝纵横，宽度可达几十厘米，绵延很长。 很多滑坡和土石散落。山崩。 常有井泉干涸或新泉产生	家具翻倒并损坏

烈度	房　屋	结 构 物	地 表 现 象	其 它 现 象
十 度	Ⅲ类房屋许多倾倒	牌坊许多破坏。 砖、石砌的塔和工厂烟囱大都倒塌。 较稳定的碑石和纪念物大都翻倒。 路基和土堤毁坏。道路变形,并有很多裂缝。钬轨局部弯曲。 地下管道破裂	地上裂缝宽几十厘米;个别情况下,达1米以上。堆积层中的裂缝有时组成宽大的裂缝带,断续绵延可达几公里以上。个别情况下,岩石中有裂缝。 山区和岸边的悬崖崩塌。疏松的土大量崩滑。形成相当规模的新湖泊。 河、池中发生击岸的大浪	家具和室内用品大量损坏
十 一 度	房屋普遍毁坏	路基和土堤等大段毁坏。大段铁轨弯曲。 地下管道完全不能使用	地面形成许多宽大裂缝。有时从裂缝里冒出大量疏松的、浸透水的沉积物。 大规模的滑坡、崩滑和山崩。地表产生相当大的垂直和水平断裂。 地表水情况和地下水位剧烈变化	由于房屋倒塌,压死大量人畜,埋没许多财物
十 二 度	广大地区内房屋普遍毁坏	建筑物普遍毁坏	广大地区内,地形有剧烈的变化。 广大地区内,地表水和地下水情况剧烈变化	由于浪潮及山区内崩塌和土石散落的影响,动、植物遭到毁灭

注:1. 房屋类型

Ⅰ类:(1)简陋的棚舍。

(2)土坯或毛石等砌筑的拱窑。

(3)夯土墙或土坯、碎砖墙;树枝草泥做顶等施工粗糙房屋。

Ⅱ类:(1)夯土墙或用低级灰浆砌筑的土坯、碎砖、毛石、卵石等墙,不用木柱或虽有细小支柱但无正规木架的房屋。

(2)老旧的有木柱的房屋。

Ⅲ类:(1)有木架的房屋(宫殿、庙宇、城楼、钟楼、鼓楼和较好的民房)。

(2)竹笆或灰板条外墙,有木架的房屋。

(3)新式砖石房屋。

2. 建筑物的破坏程度

(1)轻微损坏 粉刷的灰粉散落,抹灰层上有细小裂缝或小块坠落,偶有砖、瓦、土坯或灰浆碎块等坠落,不稳固的饰物滑动或损伤。

(2)损坏 抹灰层上有裂缝,泥块脱落,砌体上有小裂缝,不同的砌体之间(如砖墙间)产生裂缝,个别砌体局部崩塌,木架偶有轻微拔榫,砌体的突出部分和民房烟囱的顶部扭转或损伤。

(3)破坏 抹灰层大片崩落,砌体裂开大缝或破裂,并有个别部分倒塌,木架拔榫、柱脚移动,部分房屋破坏,民房烟囱倒下。

(4)倾倒 建筑物全部或相当大部分的墙壁、楼板和屋顶倒塌,有时屋顶移动,砌体严重变形或倒塌,木架显著地倾斜,杆件折断。

二、震级与震中烈度及震源深度之间的相互关系

表 1－3－2　震级与震中烈度及震源深度之间的相互关系

震　级	震源深度（公里）				
	5	10	15	20	25
	震中烈度				
2	3.5	2.5	2	1.5	1
3	5	4	3.5	3	2.5
4	6.5	5.5	5	4.5	4
5	8	7	6.5	6	5.5
6	9.5	8.5	8	7.5	7
7	11	10	9.5	9	8.5
8	12	11.5	11	10.5	10

三、岩石性质对地震烈度的影响

一般来说基岩比一般土壤的地震烈度约降低一度，但随岩石及土壤种类的不同地震烈度的差值亦异，不同岩石或土壤地震烈度的增值，可参考表 1－3－3。

表 1－3－3　不同岩石及土壤地震烈度相对增值（以花岗岩为标准）

岩石及土壤	烈度相对增值（度）	岩石及土壤	烈度相对增值（度）
花岗岩	0	中砂	1.3～1.6
石灰岩、页岩、致密片麻岩	0.2～0.4	细砂或粉砂	1.4～1.8
致密砂岩	0.5～0.8	粘土	1.2～1.6
破损的石灰岩、页岩、砂岩	0.7～1.1	砂粘土	1.3～1.7
泥灰岩	0.7～1.0	粘砂土	1.4～1.8
卵石土	0.9～1.3	堆积土	2.3～2.6
砾砂或粗砂	1.2～1.4	种植土	2.6～3.0

四、水文地质条件对地震烈度的影响

地下水埋深在 1～5 米，对地震烈度影响最明显，烈度增值可达 1 度左右，深度大于 5 米时，水位的影响则不明显（表 1－3－4）。

表 1－3－4　水文地质条件对地震烈度的增值

潜水深度（米）		0～1	4	10
烈度增值（度）	砂粘土，粘砂土	1	0.5	0
	卵石土	0.5	0.3	0

第二节　井巷工程震害与采矿抗震设计的有关规定

一、井巷震害

井巷工程居于岩石或土层中，周围有一定的约束。由于周围介质的阻尼作用，使地震波对地下工程影响减小，变形受到约束，与地面建筑震害不同。

唐山地震后，对开滦煤矿井巷工程震害调查证明，在矿区内各类井巷工程都没有显示出从地面高烈度区到低烈度区，随烈度衰减震害逐步减轻的规律。如唐山矿新风井位于极震区，钢筋混凝土井塔断裂，工业场地其它建筑物倒塌严重，但井壁没有发现裂缝，仅将壁后注浆孔封口木塞铁盖震掉。而唐家庄矿徐家楼新井井筒比唐山矿新风井距震中远三十多公里，井筒断裂错位，震害较唐山矿新风井严重。从垂直方向看，地下震害随着距地表深度的增加，呈指数曲线迅速衰减，到一定深度趋于常数。就所调查的立井井筒震害来看，在同一井筒周围介质基本相同的条件下，随深度增加而迅速衰减。震害大多发生在距地表深度 50 米以内。

井筒工程地质条件和井巷工程围岩的性质是影响震害轻重的重要因素。井筒震害多发生在冲积层段，若场地出现砂土液化，震害均比较重，井壁出观裂缝，甚至断裂错位。

二、采矿抗震设计的有关规定

根据煤炭工业部《抗震设计规定》，对采矿工程抗震设计有如下规定：

1. 新建井筒位置应尽量选择在基岩稳定、表土层薄、工程地质条件较好的地段，不宜选择在对工程抗震不利的地段，必须避开危险地段。

2. 矿区划分井田时，应尽量以地质构造，特别是活动断层作为井田的自然境界。

3. 在矿井井田内，应尽量以较大断层作为采区边界。

4. 井底车场、硐室、主要运输大巷（集中和分组），总回风巷和采区上（下）山等，应尽

量选择在不受开采影响的稳定坚硬的岩层中。

5. 当设计烈度为 8、9 度时，处于表土段的新建立井井筒，在地表以下 20 米内（如表土段厚度小于 15 米，还应包括筑进基岩 5 米的一段）必须采用钢筋混凝土结构。

当表土段在地表以下 20 米内夹有饱和砂土层时，对设计烈度为 7 度及以上的立井井筒，在地表以下 30 米内（如表土段厚度小于 25 米，还应包括筑进基岩 5 米的一段）必须采用配双层钢筋的钢筋混凝土结构。

6. 井壁上各种硐口（风硐口、排水管道硐口、井筒与井底车场连接处、安全出口等）应尽量错开布置，避免在同一水平截面或竖直截面上将井壁削弱过多，必要时井壁应局部加强。

7. 对于锚喷支护、钢筋混凝土碹、毛料石碹、U 形金属支架、梯形金属支架、预制钢筋混凝土支架、木支架等支护型式，除保证施工质量外，一般可不增加抗震措施，但在穿过断层时应适当加强。

8. 主要巷道不宜穿过活动断层。如必须穿过时，应有防范措施，且在活动断层两侧应有通向安全出口的独立通道。

9. 井下通道和安全出口的布置，应使井下各工作点的人员在地震时能安全迅速撤至地面。在技术经济条件上接近时，应尽量采用平硐、斜井作为安全出口。

10. 作为安全出口的立井井筒必须设置梯子间。梯子间结构、材料应坚固，便于检修维护，不宜采用单根圆钢的梯级。

11. 作为安全出口的立井井筒，当井深超过 300 米时，宜每隔 200 米左右设置一休息点。休息点可在井壁上开凿一硐室与梯子平台连通。

12. 井下主排水泵房要有两个出口：一个用斜巷通往井筒，斜巷与井筒连接处应高出泵房地面 7 米以上，并应设置平台，平台尺寸应考虑发生事故时有增援和外运排水设施的可能性，斜巷设人行阶梯并铺设轨道，其净断面应保证敷设排水管路后，仍能通过水泵和电动机；另一个通到井底车场，通道内要设置容易关闭的密闭门。

13. 作为安全出口的井筒、硐口，除应符合第 5 条的要求外，在出口处 10 米（立井为垂高，斜井为斜长，平硐为水平长）范围内，当设计烈度为 8、9 度时，应采用钢筋混凝土结构；当设计烈度为 6、7 度时，可采用混凝土或砖石结构，砖石结构应采用不低于 75 号的混合砂浆砌筑。

14. 当设计烈度为 8、9 度时，井下主排水泵房的布置，应考虑在震后涌水增加时有增设临时水泵的可能性，例如能利用泵房内的通道安装临时水泵等。

15. 当设计烈度为 8、9 度时，应考虑震后在回风水平建立转排站时利用井筒原有排

水管路的可能性。向下一水平延深的矿井，宜保留上水平的排水工程设施。

16. 在条件适合时，压缩空气管路应能临时用作排水管路，设计中应有可以迅速转换的措施。

三、名词术语

1. 基本烈度：是指该地区今后一定时期内一般场地条件下可能遭遇的最大地震烈度。

2. 设计烈度：抗震设计采用的地震烈度。

3. 发震断裂：有可能发生地震的断裂。一般根据地震部门提供的危险区划图中危险地段内断裂资料，由地震局确定。

4. 活动断层：处于运动状态的断层，经地震部门鉴定并以正式资料为依据。

5. 工程抗震不利地段：地震时可能液化的场地土、条状突出的山脊、高耸立的山丘、非岩质的陡坡、洼地、多种地貌交接部位、古河道、古湖泊等地段。

6. 工程抗震危险地段：发震断裂带或活动断层及其邻近、采空塌陷边缘区、地面移动尚未稳定的采空塌陷中间区和地震时可能发生滑坡、崩坍、地陷或泥石流等地段。

第四章　煤的性质、分类及用途

第一节　煤的性质

一、煤的物理性质

1. 密度、视密度和散密度

煤的密度是煤的主要物理性质之一。在涉及煤的体积和质量关系的各种工作中，都需用到密度。如确定煤的变质程度，进行煤分类、精选和制样时，需要测定和应用煤的密度。其值取决于煤的变质程度、煤岩组分、煤中矿物质的特性和含量，也同煤的孔隙率有关，而煤的孔隙率又是煤层气的一个重要的计量参数。

煤的密度有三种表示方法：①真密度或称真相对密度；②视密度或视相对密度；③散密度或称堆密度。物理意义上都是单位体积煤的质量，以 g/cm^3 为单位。工业上以 t/m^3 或 kg/m^3 为单位。密度和相对密度在数值上相等，但其物理意义不同。学术上一般用密度，工业上习惯用相对密度（曾称比重）。煤的相对密度是指 20℃时煤的质量与同体积水的质量之比。由于煤是多孔物料，孔隙中含有水、空气或其他气体；煤中还会有矿物质；煤堆积在一起时，颗粒之间存在空隙，其中也充填有空气。为了适应不同的用途，所以有如上的三种表示方法。

（1）煤的真相对密度（曾称真比重）。按我国法定计量单位，应称为真相对密度，表示符号为 TRD（True Relative Density），是表示煤分子空间结构的物理性质，它和煤的其他

性质有着密切关系。它是计算煤层平均质量的一项重要指标。在洗选煤或制备减灰试样时，也需要根据煤的真相对密度来确定减灰重液的相对密度。

影响煤的真相对密度的主要因素如下。

①煤的变质程度。煤的变质程度是影响真(相对)密度的主要因素之一。随着煤变质程度的加深，纯煤真密度增大，如褐煤真密度一般小于 1.3，烟煤多为 1.3～1.4，而无烟煤则为 1.4～1.9。

②煤的岩相组成。同一变质程度的煤，不同岩相组分的真密度亦不相同。比如丝炭真密度为 1.39～1.52，暗煤为 1.30～1.37，亮煤为 1.27～1.29，镜煤为 1.28～1.30，角质化物质为 1.20～1.25。

③煤的成因。不同成因的煤其真密度也不相同。腐泥煤的真密度要比腐植煤的小，除去矿物质的纯腐植煤的真密度都在 1.25 以上，而纯腐泥煤的真密度约为 1.0。腐植煤的真密度较腐泥煤类大，是由它的分子结构所决定的。因为在腐植煤有机质中芳香结构比较多，其主要岩相组成有丝炭、镜煤、暗煤、亮煤，而腐泥煤成煤物质中主要是浮游生物及一些藻类，而藻类(相对)密度较小。

④煤中矿物质。由于煤中矿物质的(相对)密度比煤有机物大得多，例如常见的矿物质中，粘土相对密度为 2.4～2.6，石英为 2.65，黄铁矿为 5.0，因此，煤中矿物质含量越高，煤的真密度也越大，也就是煤的真密度随煤中灰分的增高而增高。粗略地讲，灰分每增加 1%，煤的真密度增加 0.01%。参见图 1－4－1。

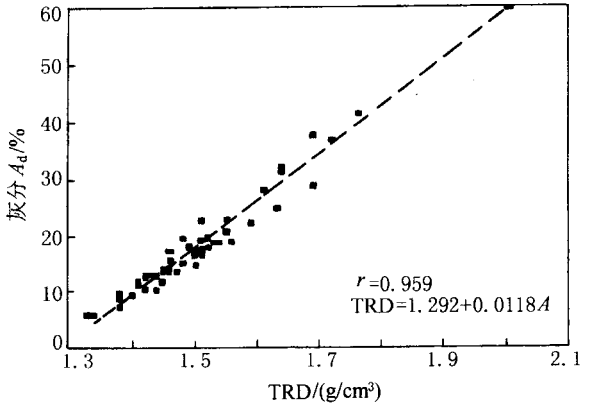


图 1－4－1　某矿煤中灰分含量与真相对密度的关系

测定煤的真密度常用比重瓶法，以水做置换介质，根据阿基米德原理进行计算。方法要点 以十二烷基硫酸钠溶液为润湿剂，使煤样在比重瓶中润湿、沉降并排除吸附的气

体，根据煤样质量和它排出的纯水的质量计算煤的真密度。

计算公式如下：

$$(\mathrm{TRD}_{20}^{20})_{\mathrm{d}} = \frac{G_{\mathrm{d}}}{G_0 + G_{\mathrm{d}} - G_1}$$

式中　$(\mathrm{TRD}_{20}^{20})_{\mathrm{d}}$——干基煤的真密度；

G_{d}——干基煤样质量，g；

G_0——比重瓶、浸润剂及水的质量，g；

G_1——比重瓶、浸润剂、煤样及水的质量，g。

干基煤样质量按下式计算 式中 M_{ad}为空气干燥基煤样水分，%。

$$G_{\mathrm{d}} = G \times \frac{100 - M_{\mathrm{ad}}}{100}$$

式中　G——空气干燥煤样质量，g。

用水作置换介质操作方便，但水分子的直径较大，不能进入很细的毛细管和微孔中，测得的真密度仅是近似值。用氦做置换介质可较准确地测定煤的真密度。氦的分子直径很小(17.8nm)能渗入微孔中，且对煤的表面不发生吸附作用。表 1－4－1 表明不同煤阶煤其氦密度与水密度测定值的差异。图 1－4－2 示出煤的氦密度随表征煤阶的碳含量的变化曲线。

表 1－4－1　不同煤阶煤的氦密度与水密度

挥发分/%(maf)	密度/(g/cm³)		差　值/%	挥发分/%(maf)	密度/(g/cm³)		差　值/%
	用氦	用水			用氦	用水	
44.5	1.31	1.31	0.0	23.7	1.31	1.32	+0.8
34.8	1.35	1.35	0.0	17.0	1.34	1.33	−0.7
32.9	1.27	1.28	+0.8	14.0	1.45	1.46	+0.7
29.6	1.30	1.29	−0.8	12.1	1.40	1.37	−2.1
26.6	1.28	1.28	0.0	11.7	1.39	1.45	+4.3
24.9	1.34	1.33	−0.7	3.4	1.57	1.57	0.0
24.6	1.38	1.45	+5.1	1.7	1.58	1.58	0.0

(2)煤的视相对密度。煤的视密度是指 20℃时煤(包括煤中孔隙)的质量与同体积水的质量之比(曾称视比重)，以 g/cm³ 表示。它是表示煤物理特性的一项指标，用于煤矿及地勘部门计算煤的埋藏量 在贮煤仓的设计及煤的运输、磨碎和燃烧等过程的计算中，也都需要这项测值。此外视密度还用来计算煤的气孔隙率，作为煤层气计量基准。

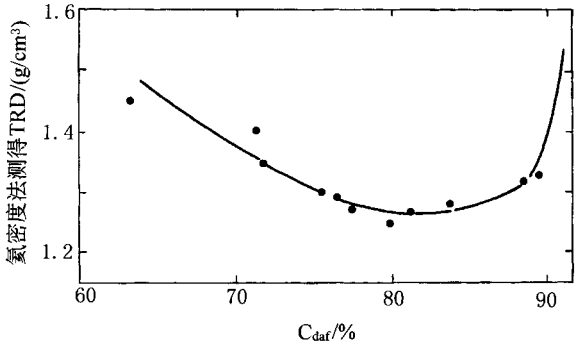


图 1-4-2　煤的氦密度随碳含量的变化

测定视密度的方法有多种，常用涂蜡法（或涂凡士林法）和水银法。视密度与真密度的区别就在于置换介质是否渗入煤中孔隙。涂蜡法是在煤粒外表面上涂上一层薄蜡膜，封住煤粒的孔隙，使介质不能进入孔隙。将涂蜡的煤粒浸入水中用比重天平称量，根据阿基米德原理测出煤粒的外观体积，从而计算出煤的视密度（ARD，Apparent Relative Density）。计算公式如下：

$$\mathrm{ARD}_{20}^{20}=\frac{G_1}{\left(\dfrac{G_2+G_4-G_3}{\rho_r}-\dfrac{G_2-G_1}{\rho_s}\right)\times\rho_w^{20}}$$

式中　ARD_{20}^{20}——煤在 20℃时的视相对密度，g/cm^3；

G_1——煤样的质量，g；

G_2——涂蜡煤粒的质量，g；

G_3——比重瓶，涂蜡煤粒及水溶液的质量，g；

G_4——比重瓶，水溶液的质量，即空白值，g；

ρ_s——石蜡的密度，g/cm^3；

ρ_r——在 t℃时十二烷基硫酸钠溶液的密度，g/cm^3；

ρ_w^{20}——水在 20℃时的密度，可近似取 1.00000g/cm^3。

知道了煤的真密度和视密度，工业上常常用来计算煤的孔隙率。煤的孔隙率大小和煤的反应性能、强度有一定关系，孔隙率大的煤其表面积大，反应性能较好，但孔隙率大的煤一般强度较小。煤的孔隙率也是决定煤层瓦斯含量和瓦斯容量的主要因素之一，是计量煤层中游离瓦斯含量的重要依据。

根据视密度和真密度可以计算出煤的孔隙率，计算公式为：

$$\text{孔隙率}(\%)=\frac{\text{真密度}-\text{视密度}}{\text{真密度}}\times 100$$

公式推导如下：

$$\text{孔隙率}(\%) = \frac{\text{煤毛细孔隙体积}}{\text{煤视体积(即含孔隙煤体积)}} \times 100$$

令　V_A——含孔隙煤体积；

V_T——不含孔隙煤体积；

m——煤的质量。

则：

$$\text{孔隙率}(\%) = \frac{V_A - V_T}{V_A} \times 100$$

$$\text{孔隙率}(\%) = \frac{\frac{m}{\text{ARD}} - \frac{m}{\text{TRD}}}{\frac{m}{\text{ARD}}} \times 100 = \frac{\text{TRD} - \text{ARD}}{\text{ARD} \times \text{TRD}} \times \text{ARD}$$

$$= \frac{\text{TRD} - \text{ARD}}{\text{TRD}}$$

有时也可用水银法来测定煤的视密度，要点是将煤粒直接浸入水银介质中，因水银的表面张力很大，在常压下不能渗入煤的孔隙，煤粒排出的水银体积，即为包括孔隙在内的煤粒外观体积，进而就可计算出煤的视密度。不同煤阶的煤，其视密度相差很大，褐煤为 1.05～1.30g/cm^3，烟煤为 1.15～1.50g/cm^3，无烟煤为 1.40～1.70g/cm^3。

(3)煤的散密度。散密度指包括煤粒间空隙和煤粒内孔隙的单位体积煤的质量，是工业上常用的计量指标。测定原理是以装满容器的煤粒集体的质量与容器容积(包括煤粒之间的空隙)之比，以 t/m^3 表示，有时也称煤的堆积密度。设计煤仓、计算煤堆质量和车船装载量以及焦炉和气化炉设备的装煤量时，都需要使用煤的散密度数据。散密度是在一定容器中直接测定的，测定时所用的容器愈大，准确性愈高。煤的散密度是条件性的指标，受容器的大小、形状和装煤方法以及煤的水分和粒度等因素的影响。为得到较好的可比性和尽可能接近实际，对测定条件都有严格的规定。煤的散密度随煤粒增大而增高。粒度愈均匀，煤的散密度愈小。煤的水分在增加到 5% 左右以前，散密度逐渐降低，此后即基本稳定。在生产实际中，煤的散密度一般为 0.5～0.75t/m^3。根据煤的视密度和散密度，可以计算煤料堆积床层的空隙率或空隙度，即煤粒之间的空隙体积与煤粒堆积体积的比率：

$$\text{空隙率} = \frac{\text{视密度} - \text{散密度}}{\text{视密度}} \times 100\%$$

空隙率可用于计算床层的气体流动阻力。

对于同一个煤样来说，密度的数值为真密度 > 视密度 > 散密度。对于同一煤阶的煤

来说，其中各显微组分的真密度也各不相同，其数值依次是丝质组 > 镜质组 > 稳定组。当煤中碳含量在 94% 以上，三种显微组分的真密度才趋于一致（图 1－4－3）。

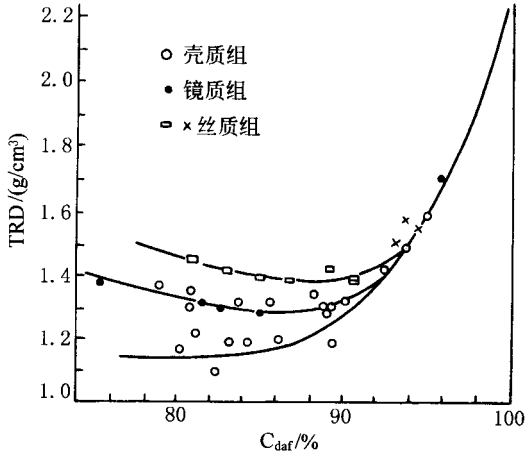


图 1－4－3　煤中不同显微组分的真密度随碳含量的变化

（资料来源：引自 D. W. Van Krevelen："Coal"，1993 年）

2. 煤的抗碎强度和显微硬度

（1）抗碎强度。煤的抗碎强度是指一定粒度的块煤，从规定高度自由落下到足够厚的坚硬钢板上的抗破碎强度，故称抗碎强度（Shatter Strength）用 SS 表示。这个试验以往称为煤的机械强度试验，但用"机械强度"这一术语来定义该试验方法不够确切，因为它既包括煤的抗碎性能，又包括煤的抗压、耐磨等物理机械性质，它是一个综合性质的术语。为了区分于煤炭的抗压、耐磨特性的试验，故将原定义的"机械强度"改为"抗碎强度"。

抗碎强度试验方法是针对块煤在装卸、运输过程中落下和互相撞击而破碎等特点拟定的，它基本上反映出块煤在上述过程中的抗破碎特性，因此，块煤用户和设计单位都需了解所用煤的这一指标，它对于指导生产和工艺设备的选择具有实际的参考价值。用煤单位可根据煤的抗碎强度确定用煤粒度，而设计部门可根据煤的抗碎强度选用煤种，确定加工设备及工艺流程。

方法要点是将粒度 60 ~ 100mm 的块煤，从 2m 高处自由落下到规定厚度的钢板上，然后使大于 25mm 的块煤再次落下，如此落下破碎三次，以破碎后大于 25mm 的块煤占原煤样的质量百分数，表示煤的抗碎强度（%），按下式计算：

$$SS(\%) = \frac{m_1}{m} \times 100$$

式中　SS——煤的抗碎强度，%；

m_1——落下试验后 > 25mm 块煤质量，kg；

m——落下试验前块煤质量，kg。

煤是结构不均一且有裂纹和局部缺陷的块状多孔体，煤内还会有不同含量的矿物质，所以它的破碎过程受裂纹和内部缺陷的大小、矿物含量的分布和多寡，以及多孔脆性体材料的抗断裂能力及孔结构和分布等影响。工业上，煤的抗碎强度就代表在一定的机械功作用下，煤粒度和外表面或新生表面的变化。

(2)煤的显微硬度。煤的显微硬度也是煤岩学与煤化学研究中一个常用指标。其测值与煤阶的变化有关，特别在无烟煤阶段，对煤阶的变化特别敏感，常用作无烟煤分类的辅助参数。显微硬度测定方法的特点是不必事先分离就可对各显微组分进行直接测定，因而也受到煤岩研究的重视。显微硬度值也用来计算煤的弹性模量；并可对煤的可磨性、成型性等物理机械性能进行估算。

显微硬度是在显微镜下，根据正四棱锥体金刚石压头在规定的试验力和一定的作用时间下，压入显微组分的程度来测定的。压痕越大表征煤的显微硬度越低，其值是以压锥与煤的单位实际接触面积上所承受的压力来表示，记作 H_{MV}，单位可以是 N/mm^2 或 Pa。图 1－4－4 示出中国煤镜质组显微硬度随煤中碳含量的变化关系。图中曲线的显著特点是像张“靠背椅”；“椅背”是无烟煤；“上椅面”是烟煤；“下椅面”是褐煤。在 C_{daf} = 80%左右显微硬度有个最大值，到 90%其值最小，到无烟煤阶段（C_{daf} > 90%），显微硬度值随 C_{daf} 的增大而急速上升。因此，利用这一特点，可以将 H_{MV} 作为划分无烟煤变质阶段的重要依据（表 1－4－2）。

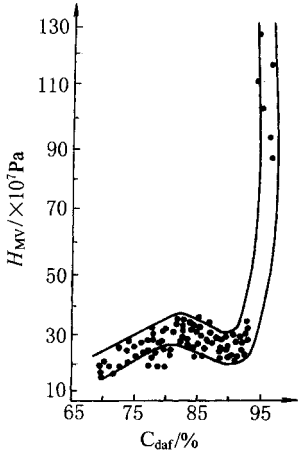


图 1－4－4　煤的显微硬度与碳含量的关系

表 1－4－2　显微硬度与无烟煤分类

项目 \ 代号		WY_3	WY_2	WY_1
编码 代表矿名		03 阳　泉	02 焦　作	01 京　西
H_{MV}/MPa 纯煤真密度		≤400 1.35～1.45	>400～800 1.45～1.60	>800 1.60～1.90
化学分析	H_{daf}/% C_{daf}/% V_{daf}/% $Q_{gr,v,daf}$/(MJ/kg)	>3 90～92 10～6.5 32～34	>2～3 92～94 6.5～3.5 34～35	≤2 >94 ≤3.5 35～36
单凝胶偏化基光质	颜色	白色	白色到 亮白色	亮白色
	多色性	不明显	较明显	明显
	与木质形态分子的界限	较清楚	不清楚	很不清楚
正偏交光	光学各向异性	较弱	强	很强
假结构显示程度		微弱	清楚	明显

煤的显微硬度取决于煤结构单元中芳香核的大小、分子间排列的有序性、氧含量及交联程度，以及高塑性物质的多少。例如，褐煤富含高塑性的腐植酸，因而 H_{MV} 值低；随煤阶增高，氧原子的引入和氧键的生成，分子间相互作用力增大，H_{MV} 也增高；到高阶烟煤阶段，交联程度相对有所减弱，致使 H_{MV} 呈现出最小值；而无烟煤具有高度的芳香缩聚结构，随煤阶增高，相邻碳网的结合、增大，有序性增强，H_{MV} 值相应增大。

相同煤阶的煤中，各显微组分的 H_{MV} 值不同。一般惰质组的 H_{MV} 值最高，其次为镜质组，最低为稳定组。此外，在不同还原程度的煤中，强还原煤中镜质组的 H_{MV} 要低于弱还原程度的，且差别十分显著。

如果在煤光片面上随机地选择测点，即很多测点(120～240 点)的显微硬度平均值称为全微硬度。由于测点选择的随机性，它恰当地包含了各种煤岩成分、矿物杂质、孔隙、裂隙等影响，可以期望全微硬度与宏观物理机械性能间有着较为密切的联系。如煤的弹性模量 E_s 与全微硬度间有下式：

$$E_s = 0.013(H_{MV})_{全} \times 10^{10}\,\text{Pa}$$

上述回归式由统计 20 多个煤样数据所得，相关系数为 0.93，如图 1－4－5。

煤的显微硬度与表征其他煤物理机械性能的参数也有很密切的关系，如可磨性(图 1

－4－6)、煤型块的抗压强度等(图 1－4－7)。图 1－4－6 中元宝山、平庄、舒兰等褐煤，其 H_{MV} 值低，但可磨性系数却很小，即不易磨细，这是由于褐煤的韧性所致。除褐煤聚集在图 1－4－6 左下方外，通过煤的显微硬度也可以初步估计出煤的可磨性系数。由图 1－4－7 也可对煤的成型性能进行估算。

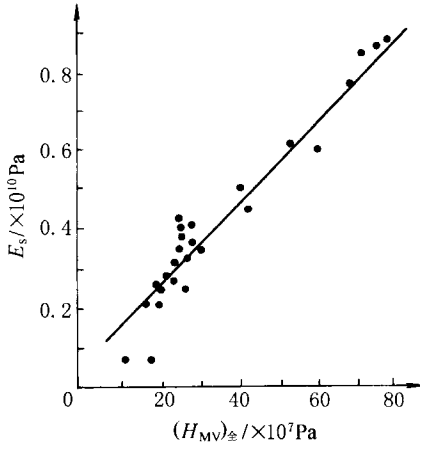


图 1－4－5　煤的全微硬度与静态弹性模量

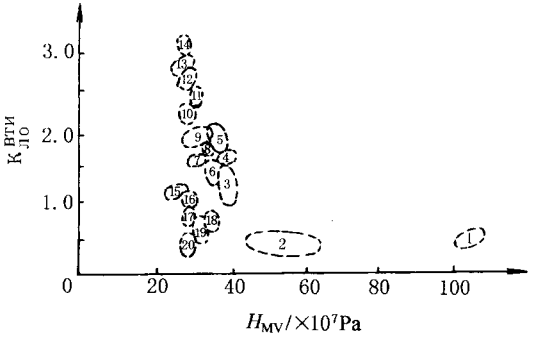


图 1－4－6　煤的显微硬度与全苏热工研究所可磨性系数 $K_{ЛО}^{ВТИ}$ 的关系
1—京西；2—焦作；3—阳泉；4—谢一；5—南票；6—大通；7—合山；8—平顶山；
9—淮南；10—天府；11—西河；12—南桐；13—黑山；14—鹤壁；15—元宝山；
16—平庄；17—舒兰；18—营城；19—百色；20—扎赉诺尔

二、煤的化学性质

1. 粘结性

烟煤干馏时粘结其本身的或外来的惰性物质的能力，称之为粘结性，是煤干馏时所

形成的胶质体显示塑性的另一种表征。在烟煤中显示软化熔融性质的煤叫粘结性煤，不显示软化熔融性质的煤为非粘结煤。粘结性是评价炼焦用煤的一项主要指标，也是评价煤低温干馏、气化或动力用煤的一个重要依据。煤的粘结性是煤结焦的必要条件，与煤的结焦性密切相关。炼焦煤中以肥煤的粘结性为最好。

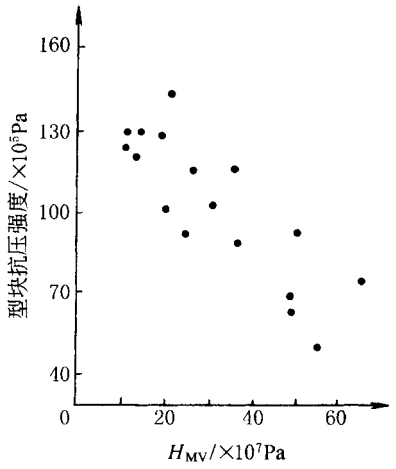


图 1－4－7　煤显微硬度值与煤型块抗压强度的关系

国际上常用坩埚膨胀序数或罗加指数来表示煤的粘结性。我国参照罗加指数测定原理，研究制定了粘结指数的测定方法，来表征煤的粘结性。下面分别概述如下。

(1)坩埚膨胀序数　是表征煤的膨胀性和粘结性的指标之一，英文名称为 Crucible Swelling Number，以 CSN 表示。在国际硬煤分类方案和中、高煤阶煤炭编码系统中被选用为分类及编码指标。该法为称取 1g 新磨的粒度小于 0.2mm 的煤样放在特制的有盖坩埚中，按规定方法快速加热至 820℃ ± 5℃，可得到不同形状的焦块，将焦块与一组编了号码的标准侧面图形(图 1－4－8)比较，与焦块形状最接近的图形的序号就是煤样的坩埚膨胀序数。序数越大，表示煤的膨胀性和粘结性越强。

坩埚膨胀序数测定所用实验仪器和测定方法都非常简单，几分钟即可完成一次试验，所以得到广泛应用。但此法带有较强的主观性，有可能将粘结性较差的煤判断为粘结性较强的煤。此外，利用此法确定膨胀序数 5 以上的煤时，分辨能力较差。

煤的坩埚膨胀序数也是煤塑性的一种表征，所以它和煤中一些特性参数必然存在一定的相关关系。图 1－4－9 示出 CSN 随煤中(O/C)原子比的变化关系，CSN 随煤中含氧量的增多而有规律地减小。图 1－4－10 是 CSN 与煤中平衡水分的关系，尽管实验点比较分散，但总的趋势是随煤中水的增加而有所降低。CSN 也因煤中显微组分含量的变

化，而有规律地变化。根据大量美国煤的统计，有下式：

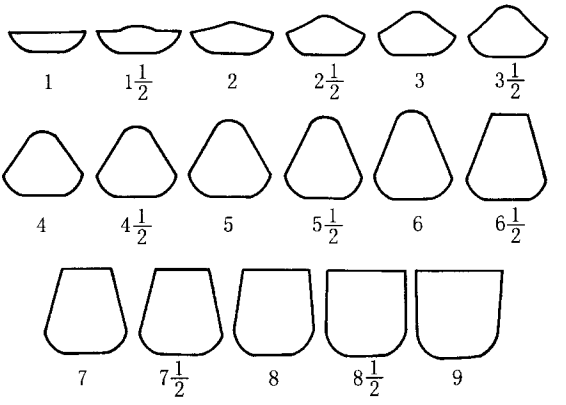


图 1－4－8　坩埚膨胀序数试验标准侧面图形和对应的序数

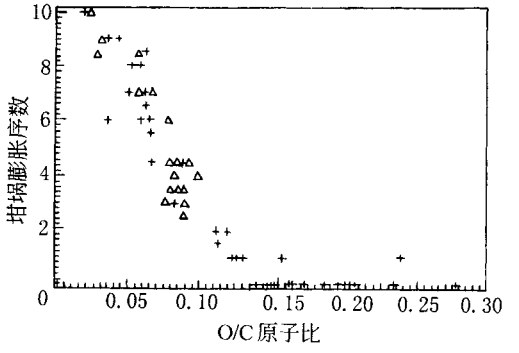


图 1－4－9　煤的坩埚膨胀序数随煤中(O/C)原子比的变化

(资料来源：Neavel 等，1981 年)

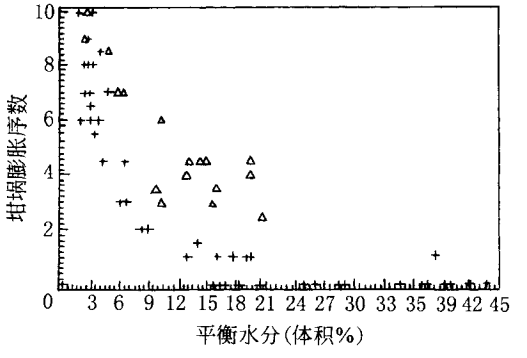


图 1－4－10　煤的坩埚膨胀序数随煤中平衡水分的变化

(资料来源：Neavel 等，1981 年)

$$CSN = 5 + 4.68f(ODAF) - 0.0039I^2 + 0.0897I - 0.07E$$

式中 $f(ODAF)$表示氧的函数关系，有

$$f(ODAF) = Sin(0.9505 + 0.2513O_{daf})$$

这里，氧含量的计算按干基（$100 - C_d - H_d - N_d - S_{t,d} - A_d$）；$I$ 表示煤中惰质组含量（干基），A_d 为干基灰分；E 表示煤中稳定组（干基）的体积百分数。上述方程适合于 O_{daf} 在 2%～15%范围内。当含氧量大于 15%后，很少能测得煤的坩埚膨胀序数。

坩埚膨胀序数除受煤阶与煤岩显微组分含量的影响外，对煤是否受风化或氧化，以及矿物质含量的多少，也十分敏感。

由于坩埚膨胀序数主要测定煤的塑性及膨胀行为，所以，这个参数在配煤时没有可加性。

（2）罗加指数（Roga Index）　是表征烟煤受热后粘结惰性添加物（无烟煤）能力的一个煤的粘结性指标，采用转鼓试验测定焦块强度，来表征烟煤受热后粘结无烟煤的粘结力。罗加指数 RI 对中等粘结性煤具有较好的区分能力，所用设备简单，方法简便，试验快速。罗加指数与工业上的焦炭强度指数有较好的相关性，因此，在煤炭分类和国际煤炭贸易中曾广为应用，对炼焦配煤也具有一定的指导意义。1956 年的硬煤国际分类中，把罗加指数作为确定煤组别的指标之一。

测定罗加指数的方法是将一定量粒度为 0.1～0.2mm 的烟煤与 5g 粒度为 0.3～0.4mm 的专用无烟煤在规定条件下混合后，在 850℃下快速加热 15min，把所得焦块在特定的转鼓中进行三次转磨试验，分次过 0.1mm 圆孔筛后称重，然后根据试验数据，按照公式求得罗加指数 RI。其计算公式为

$$RI = \frac{(m'_1 + m_3)/2 + m_1 + m_2}{3m}$$

式中　m——炼焦后焦炭的总质量，g；

m'_1——第一次转鼓试验前筛上焦炭的质量，g；

m_1——第一次转鼓试验后筛上焦炭的质量；

m_2——第二次转鼓试验后筛上焦炭的质量；

m_3——第三次转鼓试验后筛上焦炭的质量。

该法的主要问题是各国所用的专用无烟煤不同，使试验结果难于比较，使推广应用受到极大的限制。配煤的罗加指数在一定程度上具有可加性。

（3）粘结指数　是中国煤炭分类和中国煤炭编码系统两个国家标准中确定烟煤工艺类别与编码的主要指标之一，以 $G_{R,I}$ 或简记 G 表示。根据煤的粘结指数，可以大致确定该煤的主要用途 利用煤的挥发分和粘结指数图，可以了解各种煤在炼焦配煤中的作用，

这对指导炼焦配煤、确定经济合理的配煤比具有一定指导意义。粘结指数的测定原理与罗加指数的测定原理相似，即以一定质量的试验煤样和专用无烟煤混合均匀，在规定条件下加热成焦，所得焦炭在一定规格的转鼓内进行强度检验，以焦块的耐磨强度表示试验煤样的粘结能力。与罗加指数相比，主要区别是：将专用无烟煤粒度从 0.3～0.4mm 改为 0.1～0.2mm，即与试验煤样粒度相同，以便于混合均匀；转鼓试验由原来三次减少为二次；专用无烟煤的配入量改用两种比例，即当粘结指数 $G \geqslant 18$ 时，试验煤样与无烟煤比为 1:5，$G < 18$ 时，该比例为 3:3；已研制成功专用无烟煤国家标样，统一制备与提供销售。粘结指数的计算公式为：

当 $G \geqslant 18$ 时，

$$G = 10 + \frac{30m_1 + 70m_2}{m}$$

当 $G < 18$ 时，

$$G = \frac{30m_1 + 70m_2}{5m}$$

式中　m——焦化处理后焦块的总质量，g；

m_1——第一次转鼓试验后筛上焦块的质量，g；

m_2——第二次转鼓试验后筛上焦块的质量，g。

通过这些改进措施，增强了对不同粘结性煤的区分能力，简化了操作，提高了测试的精确性。这些改进，已取得国际标准化组织有关煤炭分析委员会的认可，即将出版为国际标准，编号为 ISO 15585“Hard Coal – Determination of Caking Index”。但粘结指数对强粘结煤的区分能力不足，尚有待于改进。

国内一些主要煤田煤在 $V_{daf} - G$ 图上的位置，示于图 1－4－11。这张 $V - G$ 图可用来指导炼焦配煤和提供煤种互换时的重要技术依据，并用以评价炼焦用煤。统计计算了 134 个煤质数据和单煤焦的米库姆焦炭强度 M_{40}，M_{10}和块焦率 Q_{60}（指大于 60mm 块焦占全焦的质量百分数），以及粉焦率 F_{10}（指小于 10mm 的粉焦占全焦的质量百分数），经过二次趋势面分析，结果示于图 1－4－12。图中(a)，(b)，(c)和(d)示出 M_{40}、M_{10}、Q_{60}和 F_{10}的等值线。由图表明，焦炭的抗碎强度 M_{40}主要受煤阶（以 V_{daf}表征煤阶）所控制，当 $V_{daf} < 30\%$时，M_{40}随着煤粘结指数的增高而增高；对于焦炭的耐磨强度 M_{10}，则主要随煤粘结指数变化而变化，随粘结指数的增高，焦炭的耐磨强度 M_{10}变好；当 $G < 60$ 时，块焦率 Q_{60}随着 G 值增大而增高，对于中等以上粘结性煤，其 Q_{60}随 V_{daf}的增大而显著减小；粉焦率 F_{10}则主要受煤粘结性强弱的影响，粘结指数越低，粉焦率越多。根据烟煤的 $V - G$ 图，只要给出煤的 V_{daf}和 G 值，就可以大致了解这种煤或配煤的焦炭质量，同时还可以通过图上作业法知道应该配入哪些煤，使配煤的 V_{daf}和 G 值进入到最佳配煤范围。

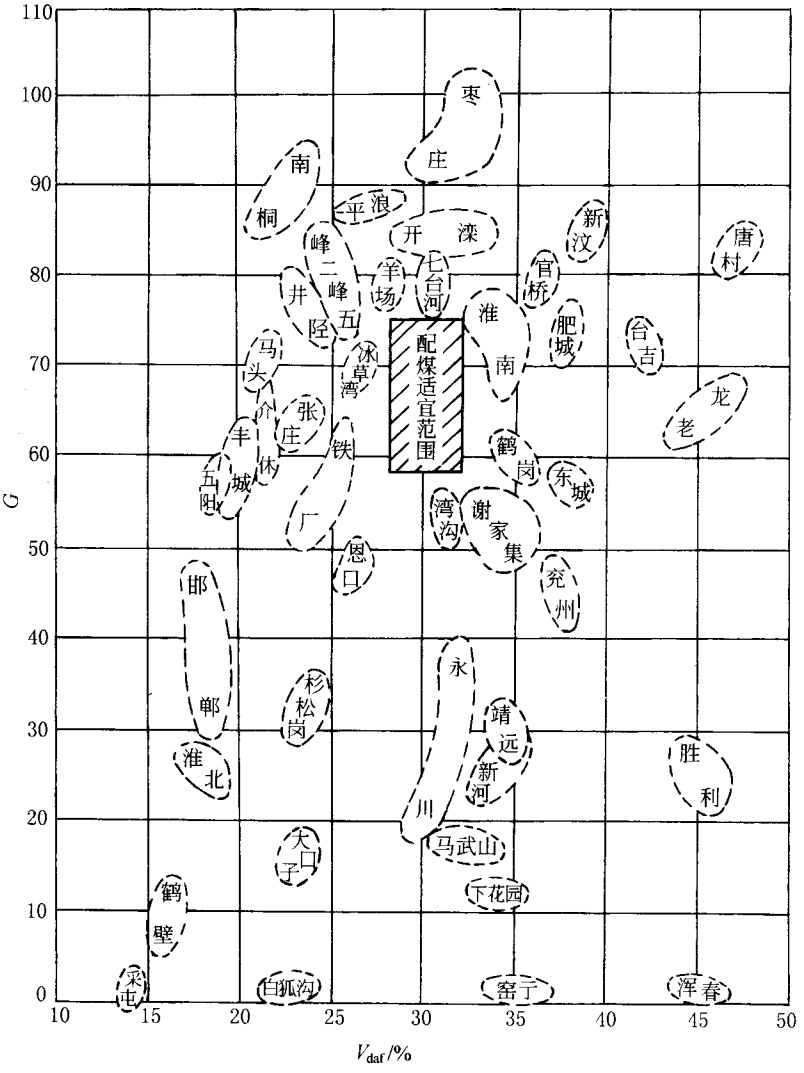


图 1－4－11　煤的 V_{daf}－G 图

在炼焦配煤计算中，粘结指数在一定程度上具有可加性。配煤的粘结指数，即当两种单煤相配合时，大致可归纳为 3 种类型：直线型、弓型和“S”型。如图 1－4－13 所示。直线型如图 1－4－13 中 1，即说明具有线性可加性，其条件是：两种煤的 $G>15$，两煤之间 G 的差值小于 45。

弓型曲线如图 1－4－13 中 2，一般在一种煤属强粘煤，另一种煤属中粘结煤时出现。两种煤的 G_1、G_2 均大于 15，$\Delta=|G_1-G_2|$，差值在 45～70 之间，则配煤粘结指数 $G'=G_1-G_2(100\%-x)$，式中 x 是强粘结煤的配煤比例，%。

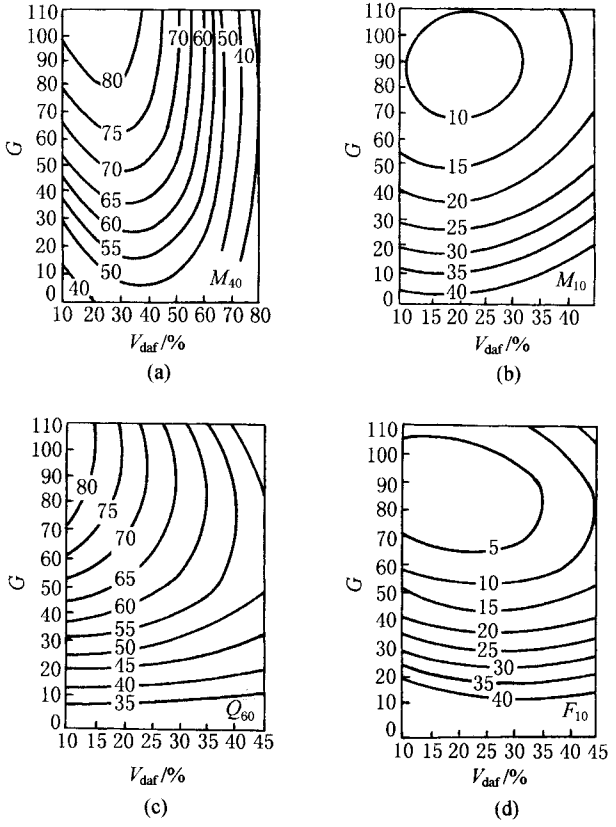


图 1－4－12　焦炭的强度、块度和粉焦率在 $V_{daf}-G$ 图上的二次趋势面曲线

图注：(a) M_{40}；(b) M_{10}；(c) Q_{60}；(d) F_{10}

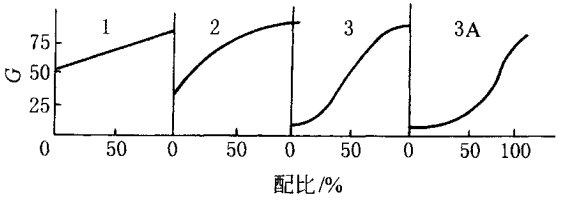


图 1－4－13　配煤粘结指数的三种类型示意

当强粘煤与弱粘结煤两种煤相配时，配煤粘结指数与配比之间的关系，则呈“S”型，如图 1－4－13 中 3。这时 $|G_1-G_2|>70$，且其中某一种煤的 G 值小于 15。在实际炼焦生产中，强粘结煤的比例通常都大于 60%～70%，可用下式求出配煤的粘结指数 $G'=G_1x+G_2(100\%-x)\alpha$。式中 α 是系数，当 $G_2=10-15$ 时，$\alpha=5$；$G_2<10$ 时，$\alpha=10$。

在中粘煤与弱粘煤相配时，$|G_1-G_2|>45$，其中弱粘煤的 $G<15$，配煤粘结指数与

配比之间的关系，如图 1－4－13 中 3A 的情况。这在实际生产中是极少遇见的。

随着粘结指数法在国内的广泛应用，就有通过某些煤质指标来推算粘结指数的需求，下面列举罗加指数(RI)、胶质层最大厚度 Y 值和坩埚膨胀序数 CSN 以及吉泽勒流动度($\lg\alpha_{max}$)与粘结指数(G)的关系图或相关方程式。

粘结指数与罗加指数间有如下回归方程可供计算：

$$G = 1.27\mathrm{RI} - 18.01$$

粘结指数与胶质层最大厚度 y 值，按挥发分值分段后的回归方程有：

$$Y = 0.18G + 0.012 \qquad (V_{daf} = 10\% \sim 20\%)$$

$$\frac{1}{Y} = \frac{9.38}{G} - 0.057 \qquad (V_{daf} = 20\% \sim 28\%)$$

$$Y = 3.68e^{0.02G} \qquad (V_{daf} = 28\% \sim 37\%)$$

$$Y = 3.35e^{0.0207G} \qquad (V_{daf} > 37\%)$$

粘结指数与坩埚膨胀序数的实验点关系相当分散，线性回归的相关系数为 0.67。大致有：

G	CSN	G	CSN
0～18	0～$1\frac{1}{2}$	>60～80	$2\frac{1}{2}$～9
>18～60	$1\frac{1}{2}$～$4\frac{1}{2}$	>80	$4\frac{1}{2}$～9

粘结指数值与吉泽勒最大流动度 α_{max} 的关系，如图 1－4－14 所示。图中纵坐标是 α_{max} 取对数后的值。它们之间有规律可循，仍可供相关人员参考。

煤中矿物质含量多少对粘结指数测值颇为敏感 煤经氧化、风化后，对 G 值也会产生较大的影响，这些都需要在制样和化验时密切注意。

2. 结焦性

结焦性是煤或配煤在通常炼焦条件下制成适用于冶金燃料的性质，习惯上往往以焦炉中炼得焦炭的强度来表示。它不仅应当包括焦炭的强度，还要包括焦炭的粒度分布、反应性和其他性质，即一整套决定冶金用焦质量的工艺性质。炼焦煤必须兼有粘结性和结焦性，两者密切相关。煤的粘结性着重反映煤在干馏过程中软化熔融形成胶质体并粘结固化的能力。测定粘结性时加热速度较快，一般只测到形成半焦为止。煤的结焦性全面反映煤在干馏过程中软化熔融直到固化形成焦炭的能力。测定结焦性时加热速度一般较慢。对煤的结焦性有两种不同的见解，一种认为在模拟工业炼焦条件(如 3℃/min 加热速度)下测定到的煤的塑性指标即为结焦性指标，硬煤国际分类中采用奥阿膨胀度

和格金焦型作为煤的结焦性指标。另一种意见则认为在模拟工业炼焦条件下把煤炼成焦炭，然后用焦炭的强度和粉焦率等指标作为评价煤结焦性的指标，如用模拟工业炼焦炉条件的 200kg 试验焦炉的焦炭的强度来评定炼焦煤和配煤的结焦性。我国在制定中国煤炭分类国家标准中，即以 200kg 试验焦炉所得焦炭的强度和粉焦率，作为结焦性指标。炼焦煤中以焦煤的结焦性最好。

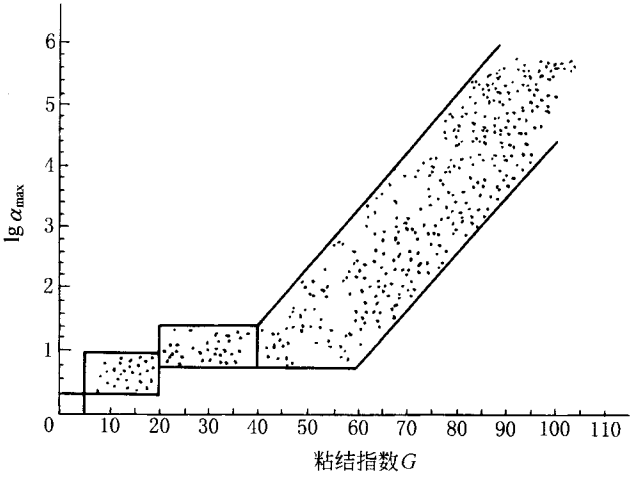


图 1－4－14　煤的粘结指数与吉泽勒最大流动度

(1)格金焦型(Gray－King assay)它是英国沿用的煤炭分类指标，是用标准焦型为参照物来判断煤结焦性的一种指标，同时也表征煤的塑性行为。用格金焦型测定煤塑性的方法是将一定量煤样装入特定的干馏管中，于干馏炉内以一定升温速度加热到 600℃，并保持一定时间，将残留在干馏管中焦炭的形状与一组标准焦型相比较，以确定其型号。标准焦型分为 A～G 型，G 型以上有 G_1 到 G_X，其中 G_1～G_X 型为强膨胀煤生成的焦型。强膨胀煤必须加入一定量的电极炭，使其焦型与标准焦型 G 相一致。下标数字 1～X 即为得到 G 型焦时所配入电极炭的最少克数。各种格金焦型的特征见表 1－4－3。一般用室式焦炉生产焦炭时，要求配煤格金焦型为 F～G。

表 1－4－3　各种格金焦型的主要特征

焦型	体积变化	主要粘结特征、强度和其他特征
A	试验前后体积大体相等	不粘结，粉状或粉中带有少量小块，接触就碎
B	试验前后体积大体相等	微粘结，多于三块或块中带有少量粉，一拿就碎
C	试验前后体积大体相等	粘结，整块或少于三块，很脆易碎

焦型	体积变化	主要粘结特征、强度和其他特征
D	试验后较试验前体积明显减小(收缩)	粘结或微熔融,较硬,能用指甲刻画,少于五条明显裂纹,手摸染指,无光泽
E	试验后较试验前体积明显减小(收缩)	熔融,有黑的或稍带灰的光泽,硬,手摸不染指,多于五条明显裂纹,敲时带金属声响
F	试验后较试验前体积明显减小(收缩)	横断面完全熔融并呈灰色,坚硬,手摸不染指,少于五条明显裂纹,敲时带金属声响
G	试验前后体积大体相等	完全熔融,坚硬,敲时发出清晰的金属声响
G_1	试验后较试验前体积明显增大(膨胀)	微膨胀
G_2	试验后较试验前体积明显增大(膨胀)	中度膨胀
G_X	试验后较试验前体积明显增大(膨胀)	强膨胀

一般认为 格金焦型不具可加性。要知道配煤的焦型,只有通过实验,而不能通过配煤可加性计算来求得。格金焦型和粘结指数呈一正变关系。如果将格金焦型数字化后,以 1 代表 A 型,2 代表 B 型,……7 代表 G 型焦,8 为 G_1 型,余下类推,则有如下关系可供参考。格金焦型的测定是项十分费时的操作,故影响了其在国内推广应用。

粘　结　指　数	格　金　焦　型
0 ~ 20	A ~ E
> 20 ~ 60	E ~ G_1
> 60	G_1 ~ G_{12}或以上

(2)奥阿膨胀度　以煤样干馏时体积发生膨胀或收缩的程度表征的一种煤的塑性指标。它主要取决于煤在生成胶质体期间的析气速度和胶质体的不透气性,和煤的岩相组成有密切关系。煤的膨胀度广泛用于研究煤的成焦机理、煤质鉴定和煤炭分类,指导炼焦配煤和焦炭强度预测等方面。中国煤炭分类国家标准中,奥阿膨胀度被确定为区分强粘结煤的一个辅助指标。

测定煤干馏时的膨胀和收缩程度的膨胀计有两类。一类是测定煤在软化、熔融和形成半焦时的体积变化,通常测定温度为 300 ~ 500℃。这类膨胀计有 将煤压实后测定的奥阿膨胀计和鲁尔膨胀计,以及用粉煤测定的霍夫曼膨胀计。另一类膨胀计用以测定从形成半焦到 1000℃的温度区间内,煤的收缩行为,这类膨胀计有高温膨胀计和热震式膨

胀计。奥阿膨胀计是国际上是最通用的一种膨胀计。在 20 世纪 50 年代欧洲硬煤分类中，奥阿膨胀度曾列为煤结焦性的分类指标。

奥阿膨胀度测定的要点是：将试验煤样按规定方法制成一定规格的煤笔，放入内径为 8mm 的膨胀管中，煤笔上面放置一根能在管内自由滑动的膨胀杆，将上述装置放入专用的电加热炉内，以 3℃/min 的升温速度加热，记录膨胀杆的位移曲线。以位移曲线上升的最大距离与煤笔原始长度的百分数，表示煤的膨胀度 b；以膨胀杆下降的最大距离占煤笔长度的百分数，表示最大收缩度 a。试验中规定膨胀杆下降 0.5mm 时的温度为软化温度 T_1，膨胀杆下降到最低点后，开始上升的温度为开始膨胀温度 T_2，膨胀杆停止移动时的温度为固化温度 T_3。图 1－4－15 是煤的一组典型的奥阿膨胀曲线。

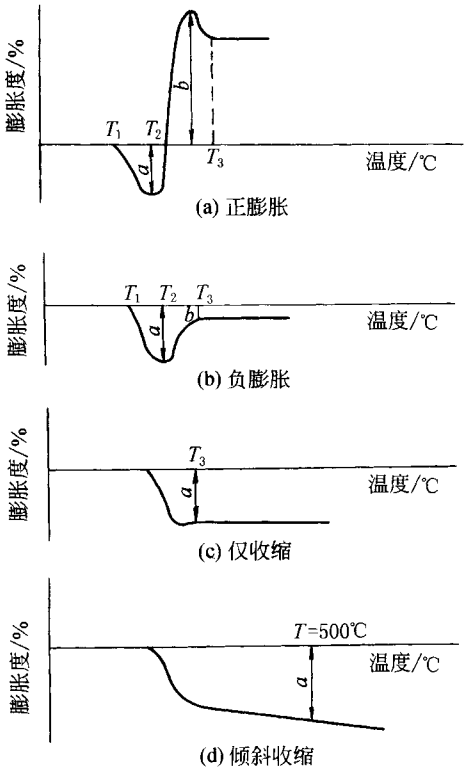


图 1－4－15　煤的典型膨胀曲线

奥阿膨胀度 b 值和粘结指数 G 值间呈指数型分布(图 1－4－16)。用指数方程回归后，取方程用于测算，计算误差较大。

奥阿膨胀度除取决于煤阶、显微组成、矿物质含量外，还对煤是否经受氧化或风化十分敏感，利用这一点可以较快地判断煤受到风化的程度。由于制备煤笔过程中，煤粒经

历很高压力的冲击，测值还受制备时压力的影响，因此，奥阿膨胀度也不能实际反映煤在焦炉中的行为。

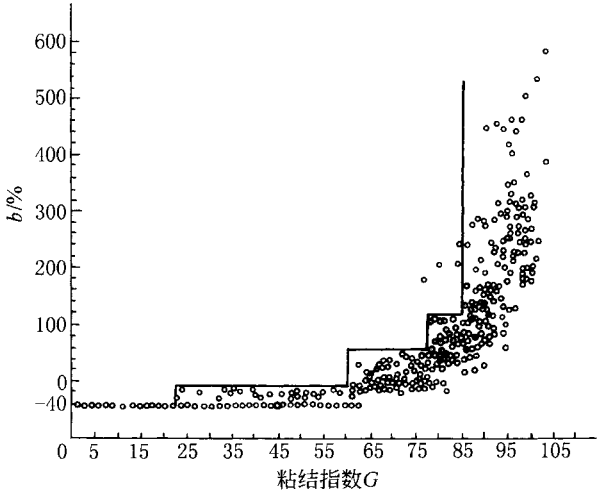


图 1－4－16　煤的粘结指数与奥阿膨胀度

奥阿膨胀度在配煤时不具可加性，也使这个指标在配煤炼焦中的应用受到限制。

第二节　煤的分类及用途

一、中国煤炭分类

现行中国煤炭分类是按煤的煤化程度将煤分成褐煤、烟煤和无烟煤三大类；再按煤化程度的深浅及工业利用的要求，将褐煤分二个小类，无烟煤分成三个小类。烟煤中类别的构成，按等煤化程度和等粘结性的原则，形成 24 个单元，再以同类煤加工工艺性质尽可能一致而不同煤类间差异最大的原则来组并各单元，将烟煤分成十二类。

分类程序上，首先是通过因子分析和趋势分析选择煤分类指标，再用分类指标对煤进行最优分割，经过聚类分析和多组判别，完成分类的全过程。指标的选择及分类划界，均以满足‘同类煤主要工艺性质相近’为基本准则。在数学上满足 Wilks 准则，表达为按类内离差阵的行列式值 $|W|$ 最小，和类间离差阵行列式值 $|T|-|B|$ 最大，用计算误差函数 U 来说明分类的效果。表达式有：

$$U = |W| / |T| - |B|$$

此外，作 F 检验，按所定 F 值对判别值的大小逐次选择，目的是以这些指标组合与分类划界，能最佳地将煤区分开，最终形成中国煤炭分类。它与先前的分类方案相比，其特点是每类煤的属性非常显著，即每类煤的工艺性质十分相近，而不同的两类煤间性质差别很大。

1. 烟煤分类

烟煤分类是煤分类中的主要部分，在国际硬煤分类和各国煤分类方案中都以烟煤分类为主。在分类指标上一般都采用表征煤变质程度和粘结性的指标。变质程度的指标各国多采用干燥无灰基挥发分（V_{daf}，%），从发展来看，采用镜质组反射率要更好些。煤的粘结性指标有：罗加指数（RI）、奥阿膨胀度（b）、坩埚膨胀序数（CSI）、格金焦型（GK）、胶质层最大厚度（Y）等。各国都根据本国情况采用不同的指标和分类方法。在分类方案中对各类煤的划分都必须结合各国的煤炭资源特点，煤炭分类既有大体的一致性，也有各国的特殊性（表 1－4－4）。

表 1－4－4　一些国家煤炭分类指标及方案对照简表

国　家	分 类 指 标	主要类别名称	类数
英国	挥发分，格金焦型	无烟煤，低挥发分煤，中挥发分煤，高挥发分煤	4 大类 24 小类
德国	挥发分，坩埚焦特征	无烟煤，贫煤，瘦煤，肥煤，气煤，气焰煤，长焰煤	7 类
法国	挥发分，坩埚膨胀序数	无烟煤，贫煤，1/4 肥煤，1/2 肥煤，短焰肥煤，肥煤，肥焰煤，干焰煤	8 类
波兰	挥发分，罗加指数，胶质层指数，发热量	无烟煤，无烟质煤，贫煤，半焦煤，副焦煤，正焦煤，气焦煤，气煤，长焰气煤，长焰煤	10 大类 13 小类
前苏联（顿巴斯）	挥发分，胶质层指数	无烟煤，贫煤，粘结瘦煤，焦煤，肥煤，气肥煤，气煤，长焰煤	8 大类 13 小类
美国	固定碳，挥发分，发热量	无烟煤，烟煤，次烟煤，褐煤	4 大类 13 小类
日本（煤田探查审议会）	发热量，燃料比	无烟煤，沥青煤，亚沥青煤，褐煤	4 大类 7 小类

（1）烟煤分类指标的选择。选择烟煤分类指标既要能反映烟煤的自然特性，又要考虑作为资源和能源的煤炭在合理利用时，能反映各种工艺对煤炭的质量要求；指标数目

要少而有效，能反映煤的成因和工艺特性，测定方法简易可行，用煤样量少而便于推广。

对于烟煤分类来说，表征煤变质程度的指标，无疑将是划分烟煤的主要指标。至于哪个指标能较确切而又可行地表征烟煤的变质程度，这就需要选择。烟煤的性质差别很大，从成因上看，除变质作用不同外，这些差别主要是由于成煤原始植物和成煤环境，使煤的岩相组成各不相同，而性质各异。从利用方面看，当前大量烟煤用于进行热转化加工，如炼焦、固定床层燃烧和粉煤流态化燃烧、气化和各种工业炉窑，以及煤的液化和直接化学转化工艺。由于热加工方式的不同，各种工艺对煤质都有其特殊的要求，但不论煤是快速受热还是慢速受热（如焦化），煤的粘结性是热加工工艺中广泛要求的工艺性质，粘结性的强弱影响到煤的利用途径及加工方式。因此，这就要求选择一个能全面照顾到各种工艺对煤质要求的粘结性指标。

由于煤的焦化工艺对煤的质量要求最为严格，烟煤分类指标的选择要反映煤的变质程度、工艺性质，如选择反映煤结焦性的试验室分类指标时，应以 200kg 焦炉半工业性试验为主要依据之一，即把与焦炭物理机械性质关系密切的煤性质作为烟煤分类指标选择的一个依据。在各国煤分类和国际硬煤分类中，都以煤的变质程度（挥发分）和工艺性质（粘结性或结焦性）作为烟煤的分类指标（参见表 1－4－4）。这两种指标的组合，对焦炭强度起着决定性的影响。在新一轮煤分类研究中，共采集了 400 多个有代表性的煤样，进行了各种指标的测试，并对其测试结果进行了因子分析。这些指标有表征煤变质程度、粘结性和表征焦炭物理机械性质的指标。

从方法学上看，分类指标要以简明、实用为其主要特点，对分类指标有以下要求：

①良好的重现性与重复性；

②适当的精度；

③主观因素少，客观性强；

④具有良好的可信度与区分性；

⑤操作简易方便；

⑥仪器价廉易于购置；

⑦具有测试自动化的潜力，使之尽量减少主观因素并降低试验费用；

⑧对于配煤，指标最好能具有可加和性。

煤阶是分类系统中最重要的概念，它说明了煤化作用深浅的程度。但是煤化作用不是一种客观属性，在寻求煤阶的最佳量度时，就出现了意见分歧。理想的煤阶指标应该是测定简便、客观且灵敏地反映出植物质在泥炭化作用后演变到无烟煤的全过程，但到目前为止还很难找到任何一个单项指标能满足这个标准。成因分类在比较煤阶时，为了

尽可能排除煤不均一性的影响，仅以煤中镜质组的行为为依据；但是在煤的商业应用中，最关心的是煤的整体，即整体煤所测得性质的平均值，它与只测定镜质组所得的结果差别很大，必然导致出现两种不同煤阶的测值结果。在工业应用上挥发分是最常用的煤阶指标，尽管它不能很好地反映高挥发分煤的煤阶，但由于测定方法简便实用，有利于推广应用，还一直作为各国煤工业分类中的主要指标。

实验室表征煤结焦性和粘结性的指标，在某种程度上表征烟煤粘结能力的某一方面。经综合比较表明，粘结指数法无论从测定原理、设备及操作简化程度、用煤样量、指标测定速度及精度、反映煤粘结性能及表现焦炭强度的能力等实际应用方面，基本上能满足烟煤分类中区分粘结性的要求。鉴于中国煤炭分类是一个有科学基础的技术分类，侧重于煤的实际应用，分类指标应考虑煤炭在热加工利用过程中所需要的那些性质。

下面就利用趋势面分析来比较一下各种指标组合在预测（或拟合）焦炭强度方面的表征能力（表 1－4－5），作为选定烟煤分类指标的最终技术依据。表中 M_{40} 和 M_{10} 分别代表焦炭经米格姆转鼓后，测得的抗碎强度和耐磨强度指标。由表 1－4－6 可见，$V-G$ 指标组合在拟合或预测焦炭强度方面有着比其他粘结性指标组合更好的表现能力。表内结果是通过对 134 个单煤炼焦试验进行趋势面分析后得出的。应用趋势面分析，可以获得二次趋势分析图（即焦炭质量的等值线或等强度线图）。按最小二乘法原理，用 $V_{daf}-G$ 拟合焦炭质量的回归方程系数及拟合优度，见表 1－4－6。以 M_{40} 为例，用 $V_{daf}-G$ 表示的一次趋势方程为：

$$M_{40}=82.11-1.42V_{daf}+0.344G$$

表 1－4－5　不同指标组合时拟合焦炭强度的优度比较（$n=134$）

焦炭强度	趋势面	$V_{daf}-G$	$V_{daf}-RI$	$V_{daf}-GK$①	$V_{daf}-lg\alpha_{max}$	$V_{daf}-Y$	$V_{daf}-CSN$	$V_{daf}-b$	$R_{max}-lg\alpha_{max}$
M_{40}	二次	0.69	0.69	0.69	0.67	0.66	0.68	0.63	0.59
	三次	0.70	0.70	0.69	0.69	0.69	0.72	0.67	0.60
M_{10}	二次	0.82	0.78	0.75	0.66	0.55	0.56	0.44	0.66
	三次	0.82	0.81	0.79	0.72	0.70	0.59	0.62	0.70

①GK 为格金焦型，统计时以 1 为等差将字母数字化，如 A 记作 1，……G 记作 7，G_1 记作 8 等等。

由此，只要知道单煤的 V_{daf}、G 值，就能预测出该单煤炼焦后所得焦炭的抗碎强度 M_{40}，该方程的拟合优度为 0.53。同理，可依据 $V_{daf}-G$ 值知道该煤所得焦炭的耐磨强度 M_{10}，大于 60mm 的块焦率 Q_{60}、大于 40mm 的块焦率 Q_{40}，以及小于 10mm 的粉焦率 F_{10}。由于表 1－4－6 所列方程结果是由 200kg 试验焦炉（230kg 装炉煤）测定数据计算

而得，在实际生产中焦炉所得焦炭的质量结果都要略好于上述各方程的计算值。

表 1－4－6　$V-G$ 拟合焦炭质量指标的回归方程及拟合优度（$n=134$）

指标		焦炭质量指标				
		M_{40}	M_{10}	Q_{60}	Q_{40}	F_{10}
一次	项系数常数	82.11	23.83	57.09	74.36	28.49
	V_{daf}	－1.42	0.351	－0.775	－0.815	0.255
	G	0.344	－0.29	0.305	0.44	－0.376
	拟合优度	0.53	0.68	0.36	0.62	0.56
二次	项系数常数	1.896	47.43	20.68	18.17	68.85
	V_{daf}	3.567	－0.542	－0.0953	2.3	－0.82
	G	0.866	－0.764	1.21	1.032	－1.38
	$(V_{daf})^2$	－0.0716	0.0714	－0.00126	－0.07	0.0129
	$V_{daf}\cdot G$	－0.0107	－0.00244	－0.0114	0.0172	0.00378
	G^2	－0.00267	0.00465	－0.00505	－0.0093	0.00767
	拟合优度	0.69	0.82	0.50	0.80	0.77

通过上述大量炼焦试验结果统计分析，烟煤分类特别对炼焦用煤的指标选定为煤的挥发分 V_{daf} 和粘结指数 G 是适宜的。

（2）分类方法和过程　在煤的成因特征和工艺要求的指标选定之后，如何依据煤的自然本性和煤在热加工过程中的表现特性进行划界，是分类工作中的一个重要课题。有两种算法，其基本思想都是对样品按‘物以类聚’的原则进行合并归类。一种称为经验分类，需要事先对样品确定类别数和选定典型，这就有赖于对分类对象性质的认识深度和生产实践经验，如果再应用聚类分析可适当弥补其不足；另一种是近年来发展的多变量的逐步聚类分析法和最优分割法，采用逐次对样品集合进行先分割，然后再归并的方法，对样品进行分类。下面以烟煤技术分类为例，示出分类的计算方法及步骤（见图 1－4－17）。

最优分割法又称 Fisher 算法，它把分类对象（煤）先后作一个集合（类），根据煤变质程度或粘结性等特性值的数值顺序，对有序样品进行分割。分割的位置要求达到使分割后各类内部样品之间的差异尽可能地小，而类与类之间差异尽可能地大，以此作为衡量“最优”分割的标准。在数学上，对有序样品总能找到一个分割点满足上述要求，将样品分成两类。据此推广，对已分出两类中的某类，再寻找分割该类中的另一分割点，循此下去，确定最佳类别数 k，就能找到（$k-1$）个分割点。最终能对 n 个样品分成 $n-1$ 类。为消除各指标数量级上的差别，避免那些绝对值大的指标的突出作用，采用矩阵元素 X_{ij} 表

示第 i 个煤样的第 j 个指标的实测值，用 $Z_{ij}=(X_{ij}-\min X_{ij})/(\max X_{ij}-\min X_{ij})$ 进行规格化。式中 $\max X_{ij}$ 和 $\min X_{ij}$ 是 X_{ij} 中的最大值和最小值。设煤样样品依次为 $X_1, X_2, \cdots X_a, \cdots, X_b, \cdots, X_n$ 分割后某一类煤样为 $(X_a, X_{a+1}, \cdots, X_b)$ 且 $b>a$，则其均值向量为 $\overline{X}_{ij}$ 有

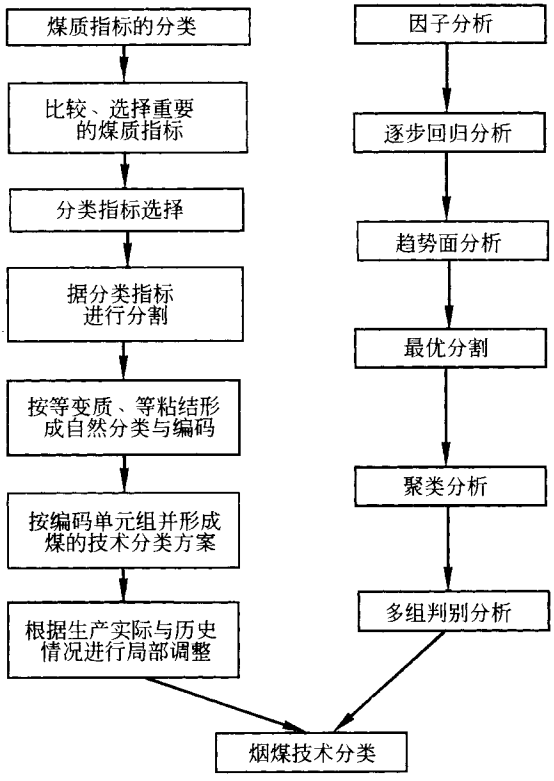


图 1－4－17　烟煤分类的计算方法及步骤

$$\overline{X}_{ij}=\frac{1}{j-i+1}\sum_{e=i}^{j}X_e$$

定义类直径 D_{ij} 为

$$D_{ij}=\sum_{l=1}^{j}(X_1-\overline{X}_{ij})(X_1-\overline{X}_{ij})$$

类的直径就表示每一类煤 $(i,\cdots,j)$ 内部各煤样的差异情况。D_{ij} 越小，表示划出的这类煤内的差异越小，一致性或集中性越显著。对 n 个煤样，分成 k 类，当煤样指标值在有序的情况下 有 $R(n,k)=\begin{bmatrix} n-1 \\ k-1 \end{bmatrix}$ 种分法，其中一种分法为

$$P(n,k):\{X_{i_1}, X_{i_1}+1, \cdots, X_{i_2}-1\}$$

$$\{X_{i_2}, X_{i_2}+1, \cdots, X_{i_3}-1\}$$

$$\cdots$$

$$\{X_{ik}, X_{ik}+1, \cdots, X_n\}$$

其中：$i_1 = 1 < i_2 < i_3 < \cdots < i_k < n$。

确定了某一种分法，其类直径分别有 $D(X_1, X_{i_2-1})$，$D(X_{i_2}, X_{i_2-1})$，…，$D(X_{i_k}, X_n)$ 对于这种分割法，其各类直径的总和 S 可写为

$$S = D(X_1 + X_{i_2} - 1) + D(X_{i_2}, X_{i_3-1}) + \cdots + D(X_{i_k}, X_n)$$

所谓最优分割解，就是要在所有可能的 $R(n,k)$ 种分法中，找出使 S 达到最小值的那种分割法。它可以使误差函数 $E[P(n,k)] = \sum_{i=1}^{k} D(X_{ij}, X_{i_{j+1}}, -1)$ 最小。

当 n、k 一定时，$E[P(n,k)]$ 越小，表示各类煤的离差平方和越小。$E[P(n,k)]$ 随分类类别数目 k 的增加而减小，根据曲线的特性点（如拐点）所对应的 k 值，选定合理的类别数。

据此，按所测得的近千个烟煤、褐煤与无烟煤样的化学、物理和工艺性质数据进行分类。烟煤的试验项目包括：①工业分析（水分、灰分、挥发分）及全硫；②胶质层最大厚度 y（mm）；③罗加指数 RI 及粘结指数 G；④格金焦型 GK；⑤坩埚膨胀序数 CSN；⑥奥阿膨胀度 b（%）；⑦吉氏最大流动度 α_{max}（度/min）；⑧镜质组平均最大反射率 R_{max}（%）；⑨煤岩显微组分——镜质组、惰性组及稳定组；⑩200kg 焦炉炼焦试验中的焦炭抗碎及耐磨强度 M_{40} 及 M_{10}（%），粉焦率 F_{10}（%），及各级焦炭筛分组成，如 > 80mm，> 60 ~ 80mm，Q_{60}、Q_{40} 及 F_{10}；⑪煤的元素分析；⑫煤的发热量。测得结果详见附录。

首先按煤的变质程度寻求最优分割点。选定表征煤变质程度的 V_{daf} 为序，另有镜质组平均最大反射率、氢碳原子比等，以焦炭质量为背景，按八个指标进行最优分割计算，结果见表 1 - 4 - 7。

表中分类顺序号是指按 V_{daf} 值大小排列后的顺序号。如分为两类时，分界顺序号为 75。第一类所对应的 V_{daf} 值为 44.27% ~ 27.95%，第二类为 27.51% ~ 16.14%，等等。由表 1 - 4 - 7 不难看出，在分割类别数 $k \geqslant 4$ 后，V_{daf} 值在 36.18% ~ 36.15%、27.95% ~ 27.51% 及 19.38% ~ 18.84% 之间始终出现最优分割点。分类类别数每增加一类，最小误差函数值 E 随之减小。根据 $E - k$ 变化曲线图（图 1 - 4 - 18），不难算出曲线的回归方程，见图框内方程。由图 1 - 4 - 18 看出，按煤的变质程度划界，一般分 5 ~ 6 类，就可以

表 1-4-7　按烟煤的变质程度进行最优分割的结果（m=8）

二类	分类顺序号	1～75	76～134										
	分界 V_{daf}值/%	44.27～27.95	27.51～16.14										
三类	分类顺序号	1～44	45～104	105～134									
	分界 V_{daf}值/%	44.27～33.02	32.74～22.36	20.99～16.14									
四类	分类顺序号	1～29	30～75	76～118	119～134								
	分界 V_{daf}值/%	44.27～36.18	36.15～27.95	27.51～19.38	18.84～16.14								
五类	分类顺序号	1～29	30～75	76～117	118～130	131～134							
	分界 V_{daf}值/%	44.27～36.18	36.15～27.95	27.51～19.52	19.38～17.07	16.77～16.14							
六类	分类顺序号	1～29	30～75	76～103	104～118	119～130	131～134						
	分界 V_{daf}值/%	44.27～36.18	36.15～27.95	27.51～22.67	22.36～19.38	18.84～17.07	16.77～16.14						
七类	分类顺序号	1～6	7～8	9～29	30～75	76～117	118～130	131～134					
	分界 V_{daf}值/%	44.27～41.93	40.80～40.60	39.43～36.18	36.15～27.95	27.51～19.52	19.38～17.07	16.77～16.14					
八类	分类顺序号	1～6	7～8	9～29	30～75	76～103	104～118	119～130	131～134				
	分界 V_{daf}值/%	44.27～41.93	40.80～40.60	39.43～36.18	36.15～27.95	27.51～22.67	22.36～19.38	18.84～17.07	16.77～16.14				
九类	分类顺序号	1～6	7～8	9～29	30～72	73～75	76～103	104～118	119～130	131～134			
	分界 V_{daf}值/%	44.27～41.93	40.80～40.60	39.43～36.18	36.15～28.36	28.25～27.95	27.51～22.67	22.36～19.38	18.84～17.07	16.77～16.14			
十类	分类顺序号	1～6	7～8	9～29	30～52	53～72	73～75	76～103	104～118	119～130	131～134		
	分界 V_{daf}值/%	44.27～41.93	40.80～40.60	39.43～36.18	36.15～31.46	31.08～28.36	28.25～27.95	27.51～22.67	22.36～19.38	18.84～17.07	16.77～16.14		
十一类	分类顺序号	1～6	7～8	9～19	20～26	27～44	45～72	73～75	76～103	104～118	119～130	131～134	
	分界 V_{daf}值/%	44.27～41.93	40.80～40.60	39.43～37.10	36.78～36.26	36.24～33.02	32.74～28.36	28.25～27.95	27.51～22.67	22.36～19.38	18.84～17.07	16.77～16.14	
十二类	分类顺序号	1～6	7～8	9～19	20～21	21～29	30～52	53～72	73～75	76～103	104～118	119～130	131～134
	分界 V_{daf}值/%	44.27～41.93	40.80～40.60	39.43～37.10		36.78～36.18	36.15～31.46	31.08～28.36	28.25～27.95	27.51～22.67	22.36～19.38	18.84～17.07	16.77～16.14

表 1－4－8 按烟煤的变质程度进行最优分割的结果($m=5$)

二类	分类顺序号	1～44												45～134							
三类	分类顺序号	1～44												45～118						119～134	
四类	分类顺序号	1～29												30～75				76～118		119～134	
五类	分类顺序号	1～29												30～75				76～117		118～130	131～134
六类	分类顺序号	1～29												30～72		73～75		76～117		118～130	131～134
七类	分类顺序号	1～6		7～8		9～29								30～75				76～117		118～130	131～134
八类	分类顺序号	1～6		7～8		9～29								30～72		73～75		76～117		118～130	131～134
九类	分类顺序号	1～6		7～8		9～19		20～29						30～72		73～75		76～117		118～130	131～134
十类	分类顺序号	1～6		7～8		9～19		20～26		27～44		45～72		73～75		76～117		118～130		131～134	
十一类	分类顺序号	1～6		7～8		9～19		20	21～26	27～44		45～72		73～75		76～117		118～130		131～134	
十二类	分类顺序号	1～6		7～8		9～11	12～19	20	21～26	27～44		45～72		73～75		76～117		118～130		131～134	

表 1－4－9 按烟煤的粘结性进行最优分割的结果($m=9$)

二类	分界顺序号	1～92												93～134							
	分界 G 值	101～71												71～16							
三类	分界顺序号	1～66												67～118						119～134	
	分界 G 值	101～71												77～43						40～16	
四类	分界顺序号	1～10						11～66						67～118						119～134	
	分界 G 值	101～95						95～78						77～43						40～16	
五类	分界顺序号	1～10						11～66						67～101		102～120				121～134	
	分界 G 值	101～95						95～78						77～62		62～39				35～16	
六类	分界顺序号	1～5						6～25				26～66		67～101		102～120				121～134	
	分界 G 值	101～98						98～89				89～78		77～62		62～39				35～16	
七类	分界顺序号	1～4			4～5			6～25				26～66		67～101		102～120				121～134	
	分界 G 值	101～99			90～98			98～89				89～78		77～62		62～39				35～16	
八类	分界顺序号	1～4			4～5			6～25				26～66		67～92		93～118		119～128		129～134	
	分界 G 值	101～99			99～98			98～89				89～78		77～71		71～43		40～21		20～16	
九类	分界顺序号	1～2		3		4		5		6～25		26～66		67～92		93～118		119～128		129～134	
	分界 G 值	101～100		99		—		98		98～89		89～78		77～71		71～43		40～21		20～16	

有较小的误差函数的变化率。对应于表 1－4－9 的五类分割点，大致为 36%、28%、19.5%及 17%，归整后分割点即在 20%、28%、36%附近。为了考察分割点的稳定性，曾经将指标数由原来的 $m=8$ 改为 $m=5$ 进行计算，其结果见表 1－4－8。比较表 1－4－7、表 1－4－8 分割的结果可以看出，两者分界顺序号基本相同，只是当类别数 k 很大时，才稍有差异，表明最优分割点具有相当的稳定性。

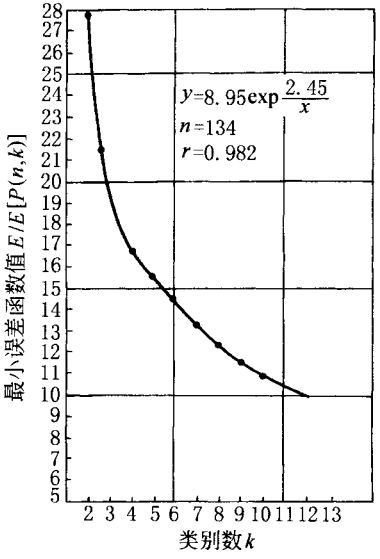


图 1－4－18　按烟煤变质程度($m=8$)进行最优分割时的 $E-k$ 变化曲线

对烟煤的粘结性和结焦性分级，即对 G 值的分割，同样可以应用最优分割来划界，结果见表 1－4－9。最终确定对于 G 值的分割点有 5、20、40、60、75 和 90。这样，在 $V_{daf}-G$ 二元坐标系中，按烟煤的变质程度和粘结性，形成烟煤的自然分类。按变质程度将煤分为低挥发分、中低挥发分、中等挥发分和高挥发分四种；按粘结性将煤分为不粘、微粘、弱粘、中粘、中强粘、强粘与特强粘煤七级，计 $4\times7=28$ 个单元。每一单元用一个两位数表示，十位数表示变质程度，个位数表示粘结性，不粘煤的个位数取 0，按粘结指数值由低到高，依次用 0，1，2，……6 表示。

接着的工作是对分割出的 28 个单元，按分类原则和最小类别数进行聚类与组并；再根据生产实际与历史情况进行局部调整。下面简要地介绍它们的原理和计算要点，以及最终制定的技术分类方案——中国煤炭分类中的烟煤分类方案。

聚类分析的目的要考察烟煤类别的最低限度类别数。采用距离系数法对 134 个焦炉试验所得焦炭质量进行聚类，即把每个煤样看做 k 维空间的一点，距离系数 D_{ik} 值相当

于 k 维空间中两点的距离，k 表示焦炭性质的指标数，有

$$D_{ik}=\left\{\sqrt{\sum_{j=1}^{k}(X_{ij}-X_{kj})^2}\right\}/k$$

$$(i,k=1,2,\cdots,n;i\neq k)$$

距离 D_{ik} 越小，表示两煤样相近性越大，反之，就说明性质差距较远。计算程序大致有数据规格化，计算出 $(n-1)/2$ 个 D_{ik} 值，选出 D_{ik} 值最小煤样对，组合距离最短煤样对，反复比较与计算，形成聚类系统谱图。根据计算所形成的类别，按煤样所在位置注明在 $V_{daf}-G$ 图上，对于烟煤至少要有 5～6 类，清晰地勾画出炼焦用煤的最少类别数。

据聚类分析结果设计 n 个方案，用多组判别分析法加以比较。多组判别多数应用在某些煤样的类别归属，在已知情况下，研究另一些存疑煤样的类别问题。多组判别是两组判别的一种推广。对于两组典型煤，第一组有 n_1 个，第二组有 n_2 个，同时测得各个煤的许多性质，即有 k 个指标值，如 $X_1,X_2,\cdots,X_k$，作 k 个指标的线性组合，即

$$B=\lambda_1 X_{11}+\lambda_2 X_{12}+\cdots\lambda_k X_k$$

其中 $\lambda_i(i=1,2,\cdots,k)$ 为待定系数。根据 Fisher 准则，要使两类煤间分离最大，对下式 H 值要求最大值，即

$$H=\frac{(\overline{B}_1-\overline{B})^2}{\sum_{i=1}^{2}\sum_{j=1}^{n}(B_{ij}-\overline{B}_i)^2}$$

式中 B 为判别量。计算出各类煤内每个指标的值与标准差，按类内离差阵的行列式值 $|W|$ 最小，和类间离差阵行列式值 $|T|-|B|$ 最大的 Wilks 准则，计算误差函数 U，比较各方案的 U 值，用以说明分类的效果。

$$U=\frac{|W|}{|T|-|B|}$$

此外作 F 检验，按所定 F 值对 λ_i 值的大小逐次选择，挑选出 λ 值大的指标，即以这些指标组合分类，能最好地将烟煤区分开来，最终形成烟煤技术分类的建议方案。按变质程度与粘结性，将烟煤初步命名并分为贫煤、瘦煤、焦煤、亚焦煤、肥煤、肥气煤、气煤、长焰煤、弱粘煤和不粘煤等 10 类。以上类别的划分都考虑以炼焦工艺性质为基础。它与原分类方案相比较，建议方案的特点是每类煤的属性比较显著，即每类煤的炼焦工艺性质十分相近，两类间性质差别较大。最后，根据生产实际与历史情况进行局部调整后，确定将具有交叉过渡性质的煤局部进行调整，单独成类，有贫瘦煤、1/2 中粘煤 建议方案中的亚焦煤更名为 1/3 焦煤，肥气煤更名为气肥煤。最终完成的烟煤分类。

2. 无烟煤分类

无烟煤阶段的分类，其主要问题是选用什么指标来表征无烟煤的变质程度，以及无

烟煤与烟煤界值如何确定；另一个问题是无烟煤类内划分小类的界值问题。

可能作为无烟煤分类反映煤阶的指标很多，有 V_{daf}、C_{daf}、H_{daf}、体积挥发分 $V_{T,daf}$、真相对密度 d、镜质组反射率 R_{max}、显微硬度 H_{mv}、发热量 $Q_{gr,daf}$，以及派生指标如 C/H（质量比）、FC/V_{daf}等。选取前测定了 127 个国内无烟煤的上述各种参数，并进行相关分析，发现 H_{daf} 与 V_{daf}，d 和 R_{max} 间的相关系数高达 0.9724、－0.9695 和 －0.9466。H_{daf} 与 $V_{T,daf}$、R_{max} 的相关系数也很高，分别为 －0.9421、0.9376。综合比较后，选定 V_{daf} 与 H_{daf} 作为无烟煤分类指标。采用烟煤分类的相似分类步骤，最终用 $V_{daf}=10\%$ 作为烟煤与无烟煤类的界值。在无烟煤类内划分 3 个小类，以 $V_{daf}=6.5\%$ 及 3.5% 为界值。对于高阶无烟煤，当 V_{daf} 与 H_{daf} 分类结果有矛盾时，以 $H_{daf}=2.0\%$ 作为区分中阶无烟煤与高阶无烟煤的判断基准。

我国无烟煤分类煤样的测试结果，详见本书附录 4，供读者研究、引用与参考。

3. 褐煤分类

根据 114 个褐煤及低阶烟煤的测定结果，并对各指标间的相关情况进行分析，如同前述的分类步骤，最终选定透光率（transmittance）作为褐煤类内的分类指标。透光率记作 P_M（%），是在规定条件下用硝酸与磷酸的混合液处理煤样后所得溶液透光的百分率，P_M 与 O_{daf} 有很好的相关性，测定方法相对来讲比较简便，重现性好，且不因煤样受轻度氧化使结果发生变化；缺点是如用分光光度计测定透光率，其测值因仪器变更而变异。因此，亦可用目测比色法，目视法的缺点是 $P_M<30\%$ 和 $>90\%$ 后，无法得到具体测值。

褐煤与烟煤的分界，采用无灰恒湿基高位发热量（前记作 $Q_{GW}^{=A\cdot GH}$，现应为 $Q_{gr,m,af}$）= 24MJ/kg 为界值，>24MJ/kg 的煤划定为烟煤，<24MJ/kg 的煤为褐煤。划定为褐煤后，测定透光率，$P_M=30\%\sim50\%$ 为二号褐煤；$P_M<30$ 为一号褐煤。这种分类界值及指标的确定，是不完美的。国际上，在褐煤和烟煤类别之间，均划定一过渡煤类——次烟煤，我国由于没有划分出次烟煤，扩大了褐煤的范围，使我国的一些褐煤缺乏国际上褐煤常有的典型特征，把原应归属次烟煤的煤，误划作褐煤。

二、国际煤炭分类

随着国际煤炭贸易量增加，迫切需要一个国际煤炭分类系统，来统一煤炭资源的储量和交换煤炭质量信息。1949 年，欧洲经济委员会煤炭委员会在日内瓦成立了煤炭分类工作委员会，开始制定国际煤炭分类。一直到现在，国际标准化组织煤炭委员会 ISO/TC27 还在制定一个“煤分类”的国际标准，可见要制定一个各国都能接受的分类标准，是一件既有必要、又十分困难而艰巨的工作。

表 1-4-10 硬煤国际分类表

（于 1956 年 3 月日内瓦国际煤炭分类会议中修订）

组别（根据粘结性确定的）			类型代号										亚组别（根据结焦性确定的）		
组别号数	确定组别的指数（任选一种）		第一个数字表示根据挥发分（煤中挥发分<33 %）或发热量（煤中挥发分>33 %）确定煤的类别 第二个数字表示根据煤的粘结性确定煤的组别 第三个数字表示根据煤的炼焦性确定煤的亚组别										亚组别号数	确定亚组别的指数（任选一种）	
	坩埚膨胀序数	罗加指数												膨胀性试验	格金试验
3	$4\frac{1}{2}$ ~ 9	>45				334	435	535	VC 635				5	>140	$>G_6$
						VA 434	434	534	634				4	50 ~ 110	$G_5 \sim G_6$
						333	VB 433	533	633	733			3	0 ~ 50	$G_1 \sim G_4$
						332a 332b	432	532	632	VD 732	832		2	≤ 0	E ~ G
2	$2\frac{1}{2}$ ~ 4	20 ~ 45				323	423	523	623	VIA 723	823		3	0 ~ 50	$G_1 \sim G_4$
						322	IV 422	522	622	722	822		2	≤ 0	E ~ G
						321	421	521	621	VIB 721	821		1	仅收缩	B ~ D
1	1 ~ 2	5 ~ 20			212	312	412	512	612	712	812		2	≤ 0	E ~ G
					211	311	Ⅲ 411	511	611	Ⅶ 711	811		1	仅收缩	B ~ D
0	0 ~ $\frac{1}{2}$	0 ~ 5		Ⅰ 100 A B	Ⅱ 200	300	400	500	600	700	800	900	0	无粘结性	A
类别号数			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	各类煤挥发分大致范围（%） 类别：6：>33 ~ 41 7：>33 ~ 44 8：35 ~ 50 9：42 ~ 50		
确定类别的指数	挥发分（干燥无灰基）V_{daf}/%		0 ~ 3	3 ~ 10 3 ~ 6.5 | 6.5 ~ 10	10 ~ 14	14 ~ 20 14 ~ 16 | 16 ~ 20	20 ~ 28	28 ~ 33	>33	>33	>33	>33			
	发热量（恒湿无灰基）/(kJ/kg)（30 ℃，湿度 96 %）		–	–	–	–	–	–	>32400	>30100 ~32400	>25500 ~ 30100	>23900 ~ 25500			

类别

以挥发分指数（煤中挥发分<33 %）或发热量指数（煤中挥发分>33 %）确定

注：1. 如果煤中灰分过高，为了使分类更好，在实验前应用比重液方法（或用其他方法）进行脱灰，比重液的选择应能够得到最高的回收率和使煤中灰分含量达到 5 % ~ 10 %。

2. 332a V_{daf}>14 % ~ 16 %；332b V_{daf}>16 % ~ 20 %。

1. 国际硬煤分类

硬煤为烟煤、无烟煤的统称。指恒湿、无灰基、高位发热量大于或等于 24MJ/kg，镜质组平均随机反射率大于或等于 0.6 的煤。硬煤国际分类是以干燥无灰基挥发分为第一指标，表示煤的煤化程度，当挥发分大于 33%，则以恒湿无灰基高位发热量为辅助指标；以表示煤粘结性的坩埚膨胀序数或罗加指数为第二指标；以表示煤的结焦性的格金焦型或奥阿膨胀度为第三指标。将煤分为 62 个类别，每个类别以 3 位阿拉伯数字表示，其中烟煤 59 类，无烟煤 3 类。为便于煤炭贸易和统计，又将性质相近的类别煤分为 11 个统计组（见表 1－4－10）。

这个分类采用了以炼焦煤为主的分类体系。为了便于工业上的应用，对 11 个统计组中的 V 组强粘结煤，根据其结焦性又分有 $V_A \sim V_D$。由于这个分类体系没有解决统一煤质的测试方法，在划分组或亚组时，共存两个参数，以照顾欧洲各产煤国传统的检测方法，因此用两种参数来划分同一个煤样，经常会产生矛盾或误判，限制了它的应用范围。这个分类体系的特点是为商业贸易服务；以煤阶为基础；仅仅适用于硬煤的单煤；要求分类煤样的灰分 < 10%；且采用编码方式。

国际硬煤分类的制定，满足了当时评价煤主要用于燃烧和焦化的利用目的。按当前的标准看，这个分类存在诸多不足：①未能对所有煤阶煤进行分类；②分类指标没有考虑煤的气化和液化性能；③没有煤对环境影响的参数；④没有煤炭品位的参数；⑤需要对二种指标体系进行折算或互换，容易发生分组、亚组的矛盾。

2. 国际褐煤分类

1957 年欧洲经济委员会制定了欧洲经委会的褐煤分类，作为硬煤国际分类的补充。按恒湿无灰基高位发热量小于 5700kcal/kg（23.86MJ/kg）的煤进行分类。依据新采集无灰基煤的全水分含量，将煤划分为 6 类，再按无水无灰基的焦油产率高低划分 5 组，即 $6 \times 5 = 30$ 个组别，采用编码表示煤的类别。

1974 年，ISO 制定了褐煤分类的国际标准（ISO 2950），仍用全水分和焦油产率两个指标对煤进行编码，各组都以 2 位阿拉伯数字表示（表 1－4－11）。

表 1－4－11　褐煤国际分类表（ISO 2950 74—02—01）

组别指标，$T_{ar_{daf}}$/%	组　号	代　号					
> 25	4	14	24	34	44	54	64
> 20 ~ 25	3	13	23	33	43	53	63
> 15 ~ 20	2	12	22	32	42	52	62
> 10 ~ 15	1	11	21	31	41	51	61

组别指标，$T_{ar_{daf}}$/%	组　号	代　　号					
≤10	0	10	20	30	40	50	60
类　　号		1	2	3	4	5	6
类别指标	$M_{t,af}$% (原煤)	≤20	>20 ~30	>30 ~40	>40 ~50	>50 ~60	>60 ~70

这个分类的特点是仅仅用于褐煤原煤，采用编码方式，简易且易于应用。当时主要是为了燃烧和化学加工利用的需要而制定，所以也有与国际硬煤分类相类似的不足。

三、煤的特性及用途

1. 主要煤炭的特性及用途

新的国标中各类煤的基本特性及主要用途如下：

(1)无烟煤(WY)

无烟煤的特点是固定碳高，挥发分低，纯煤真(相对)密度高达 1.35 ~ 1.90，无粘结性，燃点高，一般达 360 ~ 420℃左右。燃烧时多不冒烟。这类煤又细分为 01 号(年老)、02 号(典型)和 03 号(年轻)三个小类。其中北京、晋城和阳泉三矿区的无烟煤分别为 01 号、02 号和 03 号无烟煤的代表。

无烟煤主要供民用和做合成氨造气的原料；低灰、低硫且质软易磨的无烟煤不仅是理想的高炉喷吹和烧结铁矿石用的还原剂与燃料，而且还可作为制造各种碳素材料(如碳电极、炭块、阳极糊和活性炭、滤料等)的原料；某些无烟煤制成的航空用型煤还用于飞机发动机和车辆马达的保温。

(2)贫煤(PM)

贫煤是烟煤中变质程度最高的一小类煤，不粘结或呈微弱的粘结，在层状炼焦炉中不结焦。发热量比无烟煤高，燃烧时火焰短，耐烧，但燃点也较高，仅次于无烟煤，一般在 350 ~ 360℃左右。主要作为电厂燃料，尤其与高挥发分煤配合，燃烧更能充分发挥热值高而又耐烧的优点。

(3)贫瘦煤(PS)

贫瘦煤是炼焦煤中变质程度最高的一种，其特点是挥发分较低，但其粘结性仅次于典型瘦煤。单独炼焦时，生成的粉焦多；在配煤炼焦时配入较少的比例就能起到瘦煤的瘦化作用，对提高焦炭的块度起到良好的作用。这类煤也是发电、机车、民用及其他工业炉窑的燃料，山西省西山矿区以典型的贫瘦煤为主。

(4)瘦煤(SM)

瘦煤是具有中等粘结性的低挥发分炼焦煤。炼焦过程中能产生相当数量的胶质体，Y 值一般在 6～10mm 左右。单独炼焦时能得到块度大、裂纹少、抗碎强度较好的焦炭，但其耐磨强度较差，以作为配煤炼焦使用较好。峰峰四矿是典型的瘦煤资源。高硫、高灰的瘦煤一般只用作为电厂及锅炉的燃料。

(5)焦煤(JM)

焦煤是一种结焦性较强的炼焦煤，挥发分(V_{daf})一般在 16%～28%之间。加热时能产生热稳定性很高的胶质体。单独炼焦时能得到块度大、裂纹少、抗碎强度和耐磨强度都很高的焦炭。但单独炼焦时膨胀压力大，有时易产生推焦困难。一般以作为配煤炼焦使用较好。峰峰五矿、淮北石台及古交、西曲等矿井是我国典型焦煤代表。

(6)肥煤(FM)

肥煤是中等挥发分及中高挥发分的强粘结性炼焦煤，其挥发分多在 25%～35%左右。加热时能产生大量的胶质体。单独炼焦时能生成熔融性好、强度高的焦炭、耐磨强度比相同挥发分的焦煤炼出的焦炭还好。但单独炼焦时焦炭有较多的横裂纹，焦根部分常有蜂焦。它是配煤炼焦中的基础煤。我国的开滦、枣庄是生产肥煤的主要矿区。

(7)$\frac{1}{3}$焦煤$\left(\frac{1}{3}JM\right)$

$\frac{1}{3}$焦煤是中等偏高挥发分的较强粘结性炼焦煤，相当于原分类中的 2 号肥气煤及部分 2 号肥焦煤，也有少量粘结性较好的 1 号肥气煤和 1 号肥焦煤，是一种介于焦煤、肥煤和气煤之间的过渡煤。在单煤炼焦时能生成熔融性良好、强度较高的焦炭。焦炭的抗碎强度接近肥煤，耐磨强度则又明显地高于气肥煤和气煤。因此它既能单煤炼焦供中型高炉使用，也是良好的配煤炼焦的基础煤。在炼焦时其配入量可在较宽范围内波动而能获得高强度的焦炭。我国淮南矿区产$\frac{1}{3}$焦煤。

(8)气肥煤(QF)

气肥煤是一种挥发分和胶质体厚度都很高的强粘结性炼焦煤。有人称之为液肥煤。结焦性优于气煤而低于肥煤，胶质体虽多但较稀(即胶质体的粘稠度小)。单独炼焦时能产生大量的煤气和液体化学产品。它最适合于高温干馏制造城市煤气，也可用于配煤炼焦以增加化学产品的产率。这类煤的成因特殊，煤岩成分中以树皮质等稳定组分较多，且多形成于晚二叠世乐平统。江西乐平和浙江长广煤田是我国产典型气肥煤的矿区。

(9)气煤(QM)

气煤是一种变质程度较低、挥发分较高的炼焦煤。气煤结焦性较弱，加热时能产生

较高的煤气和较多的焦油;胶质体的热稳定性较差,能单独炼焦,但焦炭的抗碎强度和耐磨强度低于其他牌号炼焦用煤;焦炭多呈细长条而易碎,并有较多的纵裂纹。配煤炼焦时多配入气煤以增加煤气和化学产品的产率。有的气煤也可单独高温干馏来制造城市煤气。我国抚顺矿区老虎台、龙凤等矿产典型的气煤。

(10)$\frac{1}{2}$中粘煤$\left(\frac{1}{2}\mathrm{ZN}\right)$

$\frac{1}{2}$中粘煤相当于原分类中的一部分 1 号肥焦煤和 1 号肥气煤以及粘结性较好的一些弱粘煤,因而它也是一种过渡煤。但这类煤的储量和产量都不多。它是一种挥发分变化范围较宽、中等结焦性的炼焦煤。其中有一部分煤在单煤炼焦时能结成一定强度的焦炭,故可作为配煤炼焦的原料。单独炼焦时的焦炭强度差、粉焦率高,故可作为气化或动力用煤。我国目前尚未发现单独生产 1/2 中粘煤的矿井。

(11)弱粘煤(RN)

弱粘煤是一种粘结性较弱的从低变质到中等变质程度的非炼焦用烟煤。隔绝空气加热时产生的胶质体少,炼焦时有的能结成强度差的小块焦,有的只有少部分能凝结成碎屑焦,粉焦率很高。这种煤的成因也较特殊,在煤岩组分中有较高的丝质组及半丝质组成分,且多形成于古生代的早、中侏罗纪时期。一般适用于气化及动力燃料。我国山西大同矿区是典型的弱粘煤。

(12)不粘煤(BN)

不粘煤是一种在成煤初期已经受到相当程度氧化作用的低变质到中等变质程度的非炼焦用烟煤。焦化时不产生胶质体。煤的水分大,纯煤发热量仅高于一般褐煤而低于所有烟煤,有的还含有一定数量的再生腐值酸,煤中含量大多在 10% ~ 15% 左右。主要可作为发电和气化用煤,也可作为动力及民用燃烧,但由于这类煤的灰熔点低,最好与其他煤类配合燃烧,可充分利用其低灰、低硫、收到基低位发热量较高的优点。我国西北地区许多矿区(如靖远、神府、哈密等矿区)都是典型的不粘煤产地。

(13)长焰煤(CY)

长焰煤是变质程度最低的高挥发分非炼焦烟煤,其煤化程度稍高于褐煤而低于其他各类烟煤。煤的燃点低,纯煤热植不高。从无粘结性到弱粘结性的均有,有的还含有一定数量的腐植酸。贮存时易风化碎裂。有的长焰煤加热时能产生一定数量的胶质体,也能结成细小的长条形焦炭,但焦炭强度差,粉焦率高。所以长焰煤一般不用于炼焦,多作为电厂、机车燃料以及工业炉窑燃料,也可作气化用煤,辽宁省的阜新矿区是我国最大的长焰煤矿区。

(14)褐煤(HM)

褐煤是煤化度最低的矿产煤,其特点是水分大,孔隙度大,挥发分高,不粘结,热值低,含有不同数量的腐植酸。氧含量高到 15% ~ 30%左右,化学反应性强,热稳定性差。块煤加热时破碎严重,存放在空气中很易风化变质,破裂成小块甚至呈粉末状,使热值更加降低,灰熔点也普遍较低,煤灰中常含有较多的钙盐,其中有的来自腐植酸钙(金属有机化合物),也有来自碳酸钙和硅酸钙的。目前分为目视比色透光率 P_M 大于 30% ~ 50%的 2 号年老褐煤和 P_M 小于或等于 30%的 1 号年轻褐煤。我国霍林河和小龙潭等都是有名的褐煤矿区。

褐煤主要用作发电燃料,粒度 6 ~ 50mm 的混块煤可用于加压气化制造燃料气和合成气。晚第三纪褐煤中有不少可作为提取褐煤蜡的原料,但侏罗纪褐煤蜡低而只可作为燃料或加氢液化原料。年轻褐煤也适于做腐植酸铵等有机肥料,用于农田和果园,能起增产作用。

2. 其他煤炭资源的用途

目前在我国广泛使用的煤炭资源中尚有一些在国标 GB 5751—86 中没有列入的泥煤、石煤、天然焦和半石墨等品种。

(1)泥煤

泥煤也常称做泥炭,系由地质年代最近的第四纪所形成,多赋存于离地表几米、十几米到几十米处。

泥煤具有明显的胶体结构,外观呈棕褐色者较多,密度小,水分大,其主要性质如表 1 – 4 – 12。

表 1 – 4 – 12　泥煤、石煤性质指标

项目 \ 指标		单　位	泥　煤	石　煤	
				一　般	个　别
碳	C_{daf}	%	50 ~ 60	90 ~ 95	80
固定碳	FC_{ad}	%		10 ~ 40	
氢	H_{daf}	%	5 ~ 6	1 ~ 3	3
氧	O_{daf}	%	25 ~ 35		
氮	N_{daf}	%	1 ~ 3		
硫	$S_{t,d}$	%	< 1		
水分	M_t	%	> 60 ~ 90	< 2	
灰分	A_d	%		50 ~ 85	20 ~ 30
挥发分	V_{daf}	%	50 ~ 75	2 ~ 6	

项目 \ 指标	单　位	泥　煤	石　煤	
			一　般	个　别
发热量　$Q_{net,d}$	MJ/kg	6.28～17.58		
腐植酸　HA	%	10～20		
伴生元素			V、U、Mo、Ni、Cu	
煤灰成分			SiO_2 为主，>60%～80%	

泥煤碱化后可制成腐植酸钠，用于地质钻探的泥浆及蓄电池工业，也可作植物生长的刺激剂。此外，它还含有较多的氮、钾和磷，是很好的肥料，可制成高效肥料腐植酸铵，对农业增产和改良土壤都有显著效果。从泥煤中还可提取硝基腐植酸制成可染棉、毛和人造丝织物的优质染料。泥煤中还富集有可供工业提取的锗、镓、铀、镉等微量元素。

(2)石煤

石煤也称石炭、银炭、砂炭、石板煤、麻煤和泡炭等，它是一种生成于早古生代地层中腐泥质形成的高灰分、高变质的无烟煤，呈层状、似层状或透镜状。在我国南方分布比较广泛。

石煤密度大、硬度高、固定碳少，发热量低、燃点高。

石煤既是燃料，又是工业原料。有的石煤还伴生有钒、铀、钼、镍、铜等多种可供工业提取的元素。

(3)天然焦

在我国不少产煤矿区中，那些古代火成岩活动频繁的矿点，除了赋存有一般的煤炭资源外，还常局部地蕴藏有数量不等的天然焦。

天然焦一般呈银灰色，外观与焦炭相似，但由于它是在高压的条件下受火成岩喷出的高温所形成的。因此它与焦炭比较，密度大，孔隙度较小，灰分较高，干燥无灰基挥发分产率不很稳定，随其生成的温度和压力的不同，其值为 1%～10%。其燃点亦比无烟煤高，干燥无灰基高位发热量达 34.71～35.13MJ/kg 以上，其元素组成 C_{daf} 为 90%～98%。

天然焦的用途颇广泛，除可作燃料外，还可供作造气及合成氨用。灰分较低者可作小高炉炼铁用。天然焦粉可用来压制型煤或做粉煤锅炉燃料。

天然焦常具有热爆性，受热即易爆裂成小块甚至成粉末。天然焦的灰分往往很难用洗选的方法大量脱除。

(4)半石墨

半石墨也可叫超无烟煤或偏无烟煤，它是由无烟煤演变而成，常含有数量不等的灰分，外观呈鳞片状，多呈银灰色或钢灰色光泽。其元素组成 C_{daf} 可达 98%～99%左右，H_{daf}

多低于 0.5%，干燥无灰基高位发热量常在 33.45MJ/kg 左右，但随着灰分含量的增高而会有不同程度的降低。

半石墨导电性较好，燃点高，除可作民用燃料外，其中灰分较低者可作为制造电极、碳化硅、电石等高级碳素材料的原料。

3. 常见煤炭伴生有用矿物的用途

含煤地层或煤层中常见有用矿物伴生，主要有铀、锗、镓、钒等。

(1)铀

是煤中富集的元素之一，一般不超过 5g/t，个别可达 500g/t 以上，含有 100～300g/t 的即有工业利用价值，主要用于原子能工业。

(2)锗

一般含量小于 5g/t，个别可达 100～200g/t，工业可采品位为 20g/t。主要富集在镜质组中，如在同一煤层接近煤层顶底板部位含量高。主要用于半导体、雷达、无线电、导弹、红外线远距离探测仪材料等。

(3)镓

一般含量为 10g/t，高达 250g/t，工业可采品位为 30g/t。在煤层顶底板及夹矸中含量高。主要用于制造半导体元件，砷化镓作为半导体激光元件、制造太阳能电池用于人造卫星等。此外，V_3Ga 是良好的超导材料。

(4)钒

钒和镓常常一起存在于煤中。中国石煤中钒含量很高，现已进行工业性生产。工业可采品位为 0.5%～1.0%。主要用于制造优质合金钢，高效催化剂、陶瓷彩釉和油漆干燥剂等。

此外，含煤地层或煤层中还常见有造型粘土（$m Al_2O_3 \cdot n SiO_2 \cdot x H_2O$）、铁钒土（$Al_2O_3$，$Fe_2O_3$）、石灰岩（$CaCO_3$）、油页岩、铝土矿（$Al_2O_3$）等伴生有用矿物，有着重要的回收使用价值。

4. 煤炭的综合利用

煤炭的综合利用主要包括煤炭本身作为能源，煤炭作为制造二次能源，化工原料及工农业用原材料的原料等几个方面，它与能源、环保、化工、冶金、电力、材料、农业等学科的关系十分密切，其综合利用系统，见图 1－4－19。

由于煤炭转化加工过程所产生的污染严重，而以煤炭为原料制造的煤炭制品（煤质吸附剂和炭质离子交换剂）又具有良好的脱除污染的能力，所以“以煤净化煤”的课题将成为煤炭应用科学研究的重要内容。

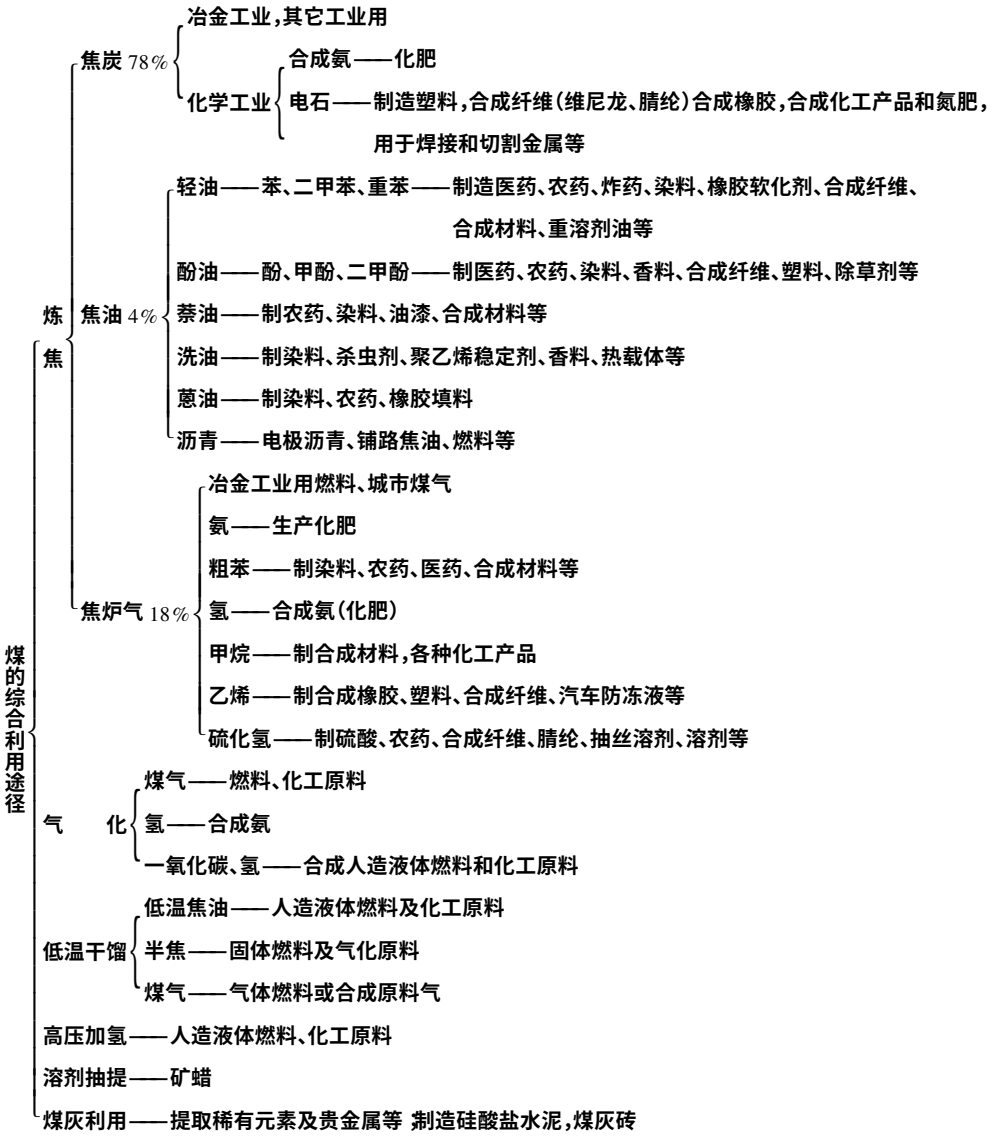


图 1－4－19　煤炭综合利用系统图

第五章　采矿常用工程材料

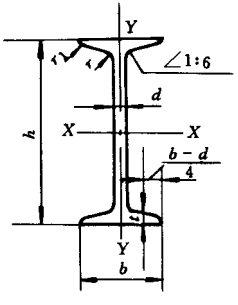
第一节　钢铁材料

一、各种型钢的型号、规格尺寸、重量及有关参数

(一)热轧普通工字钢(表 1－5－1)

表 1－5－1　热轧普通工字钢规格尺寸

(GB706—88)



h—高度；
r_1—腿端圆弧半径；
b—腿宽度；
I—惯性矩；
d—腰厚；
W—截面系数；
t—平均腿厚；
i—惯性半径；
r—内圆弧半径；
S—半截面的静力矩

型号	尺寸 (mm)						截面面积 (cm²)	理论质量 (kg/m)	参考数值						
									X−X				Y−Y		
	h	b	d	t	r	r_1			I_X(cm⁴)	W_X(cm³)	i_X(cm)	$I_X:S_X$	I_Y(cm⁴)	W_Y(cm³)	i_Y(cm)
10	100	68	4.5	7.6	6.5	3.3	14.345	11.261	245	49	4.14	8.59	33.0	9.72	1.52
12.6	126	74	5	8.4	7.0	3.5	18.118	14.223	488	77.5	5.20	10.848	46.9	12.7	1.61
14	140	80	5.5	9.1	7.5	3.8	21.516	16.890	712	102	5.76	12.0	64.4	16.1	1.73
16	160	88	6.0	9.9	8.0	4.0	26.131	20.513	1130	141	6.58	13.8	93.1	21.2	1.89
18	180	94	6.5	10.7	8.5	4.3	30.756	24.143	1660	185	7.36	15.4	122	26.0	2.00
20a	200	100	7.0	11.4	9.0	4.5	35.578	27.929	2370	287	8.15	17.2	158	31.5	2.12
20b	200	102	9.0	11.4	9.0	4.5	39.578	31.069	2500	250	7.96	16.9	169	33.1	2.06
22a	220	110	7.5	12.3	9.5	4.8	42.128	33.070	3400	309	8.99	18.9	225	40.9	2.31
22b	220	112	9.5	12.3	9.5	4.8	46.528	36.524	3570	325	8.78	18.7	239	42.7	2.27
25a	250	116	8	13	10.0	5.0	48.541	38.105	5020	402	10.20	21.6	280	48.3	2.4
25b	250	118	10	13	10.0	5.0	53.541	42.030	5280	423	9.94	21.3	309	52.4	2.4
28a	280	122	8.5	13.7	10.5	5.3	55.404	43.492	7110	508	11.3	24.6	345	56.6	2.50
28b	280	124	10.5	13.7	10.5	5.3	61.004	47.888	7480	534	11.1	24.2	379	61.2	2.49
32a	320	130	9.5	15	11.5	5.8	67.156	52.777	11100	692	12.8	27.5	460	70.8	2.62
32b	320	132	11.5	15	11.5	5.8	73.556	57.741	11600	726	12.6	27.1	502	76	2.61
32c	320	134	13.5	15	11.5	5.8	79.956	62.765	12200	760	12.3	26.8	544	81.2	2.61
36a	360	136	10.0	15.8	12.0	6.0	76.480	60.037	15800	875	14.4	30.7	552	81.2	2.69
36b	360	138	12.0	15.8	12.0	6.0	83.680	65.689	16500	919	14.1	30.3	582	84.3	2.64
36c	360	140	14.0	15.8	12.0	6.0	90.880	71.341	17300	962	13.8	29.9	612	87.4	2.60
40a	400	142	10.5	16.5	12.5	6.3	86.112	67.598	21700	1090	15.9	34.1	660	93.2	2.77
40b	400	144	12.5	16.5	12.5	6.3	94.112	73.878	22800	1140	15.6	33.6	692	96.2	2.71
40c	400	146	14.5	16.5	12.5	6.3	102.112	80.158	23900	1190	15.2	33.2	727	99.6	2.65
45a	450	150	11.5	18.0	13.5	6.8	102.446	80.420	32200	1430	17.7	38.6	855	114	2.89
45b	450	152	13.5	18.0	13.5	6.8	111.446	87.485	33800	1500	17.4	38.0	894	118	2.84

型号	尺寸 (mm)						截面面积 (cm²)	理论质量 (kg/m)	参考数值						
									X−X				Y−Y		
	h	b	d	t	r	r_1			I_X(cm⁴)	W_X(cm³)	i_X(cm)	$I_X:S_X$	I_Y(cm⁴)	W_Y(cm³)	i_Y(cm)
45c	450	154	15.5	18.0	13.5	6.8	120.446	94.550	35300	1570	17.1	37.6	938	122	2.79
50a	500	158	12.0	20.0	14.0	7.0	119.304	93.654	46500	1860	19.7	42.8	1120	142	3.07
50b	500	160	14.0	20.0	14.0	7.0	129.304	101.504	48600	1940	19.4	42.4	1170	146	3.01
50c	500	162	16.0	20.0	14.0	7.0	139.304	109.354	50600	2080	19	41.8	1220	151	2.96
56a	560	166	12.5	21	14.5	7.3	135.435	106.316	65600	2340	22.0	47.7	1370	165	3.18
56b	560	168	14.5	21	14.5	7.3	146.435	115.108	68500	2450	21.6	47.2	1490	174	3.16
56c	560	170	16.5	21	14.5	7.3	157.835	123.9	71400	2550	21.3	46.7	1560	183	3.16
63a	630	176	13.0	22	15	7.5	154.658	121.407	93900	2980	24.6	54.2	1700	193	3.31
63b	630	178	15.0		15	7.5	167.258	131.298	98100	3160	24.2	53.5	1810	204	3.29
63c	630	180	17.0		15	7.5	180.858	141.189	102000	3300	23.8	52.0	1920	214	3.27
12①	120	74	5.0	8.4	7.0	3.5	17.818	13.987	436	72.7	4.95	10.3	46.9	12.7	1.62
24a①	240	116	8.0	13.0	10.0	5.0	47.741	37.477	4570	381	9.77	20.7	280	48.4	2.42
24b①	240	118	10.0	13.0	10.0	5.0	52.541	41.245	4800	400	9.57	20.4	297	50.4	2.38
27a①	270	122	8.5	13.7	10.5	5.3	54.554	42.825	6550	485	10.9	23.8	345	56.6	2.51
27b①	270	124	10.5	13.7	10.5	5.3	59.954	47.064	6870	509	10.7	22.9	366	58.9	2.47
30a①	300	126	9.0	14.4	11.0	5.5	61.254	48.084	8950	597	12.1	25.7	400	63.5	2.55
30b①	300	128	11.0	14.4	11.0	5.5	67.254	52.794	9400	627	11.8	25.4	422	65.9	2.50
30c①	300	130	13.0	14.4	11.0	5.5	73.254	57.504	9850	657	11.6	26.0	445	68.5	2.46
55a①	550	168	12.5	21.0	14.5	7.3	134.185	105.335	62900	2290	21.6	46.9	1370	164	3.19
55b①	550	168	14.5	21.0	14.5	7.3	145.185	113.970	65600	2390	21.2	46.4	1420	170	3.14
55c①	550	170	16.5	21.0	14.5	7.3	156.185	122.605	68400	2490	20.9	45.8	1480	175	3.08

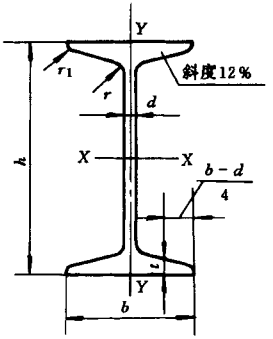
注：1. 工字钢长度：型号 10～18，长度为 5～19m；型号 20～63，长度为 6～19m。

2. 标注示例：普通碳素钢 Q235—A，尺寸为 400×144×12.5mm 的热轧工字钢，标记为：热轧工字钢 $\frac{400\times144\times12.5\text{GB706—88}}{\text{Q235—A}\quad\text{GB700—88}}$。

3. ① 所列工字钢系经供需双方协定方能供应。

（二）热轧轻型工字钢 YB163-63（表 1-5-2）

表 1-5-2 热轧轻型工字钢规格尺寸



h—高度；
b—腿宽；
d—腰厚；
t—平均腿厚；
r—内圆弧半径；
r_1—腿端圆弧半径；
I—惯性矩；
W—截面系数；
i—惯性半径；
S—半截面的静力矩

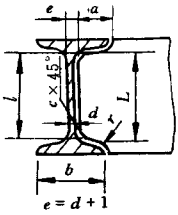
型号	尺寸 (mm)						截面面积 (cm^2)	理论质量 (kg/m)	参考数值						
									$x-x$				$y-y$		
	h	b	d	t	r	r_1			I_x(cm^4)	W_x(cm^3)	i_x(cm)	S_x(cm^3)	I_y(cm^4)	W_y(cm^3)	i_y(cm)
10	100	55	4.5	7.2	7.0	2.5	12.0	9.46	198	39.7	4.06	23.0	17.9	6.49	1.22
12	120	64	4.8	7.3	7.5	3.0	14.7	11.5	350	58.4	4.88	33.7	27.9	8.72	1.38
14	140	73	4.9	7.5	8.0	3.0	17.4	13.7	572	81.7	5.73	46.8	41.9	11.5	1.55
16	160	81	5.0	7.8	8.5	3.5	20.2	15	873	109	6.57	62.3	58.6	14.5	1.70
18	180	90	5.1	8.1	9.0	3.5	23.4	18.4	1290	143	7.42	81.4	82.6	18.4	1.88
18a	180	100	5.1	8.3	9.0	3.5	25.4	19.9	1430	159	7.51	89.8	114	22.8	2.12
20	200	100	5.2	8.4	9.5	4.0	26.8	21.0	1840	181	8.28	104	115	23.1	2.07
20a	200	110	5.2	8.6	9.5	4.0	28.9	22.7	2030	203	8.37	114	155	28.2	2.32
22	220	110	5.4	8.7	10.0	4.0	30.6	24.0	2550	232	9.13	131	157	28.6	2.27
22a	220	120	5.4	8.9	10.0	4.0	32.8	25.8	2790	254	9.22	143	206	34.3	2.50

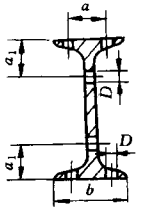
型号	尺寸(mm)						截面面积 (cm²)	理论质量 (kg/m)	参考数值						
									$x-x$				$y-y$		
	h	b	d	t	r	r_1			I_x(cm⁴)	W_x(cm³)	i_x(cm)	S_x(cm³)	I_y(cm⁴)	W_y(cm³)	i_y(cm)
24	240	115	5.6	9.5	10.5	4.0	34.8	27.3	3460	289	9.97	163	198	34.5	2.37
24a	240	125	5.6	9.8	10.5	4.0	37.5	29.4	3800	317	10.1	178	260	41.6	2.63
27	270	125	6.0	9.8	11.0	4.5	40.2	31.5	5010	371	11.2	210	260	41.5	2.54
27a	270	135	6.0	10.2	11.0	4.5	43.2	33.9	5500	407	11.3	229	337	50.0	2.80
30	300	135	6.5	10.2	12.0	5.0	46.5	36.5	7080	472	12.3	268	337	49.9	2.69
30a	300	145	6.5	10.7	12.0	5.0	49.9	39.2	7780	518	12.5	292	436	60.1	2.95
33	330	140	7.0	11.2	13.0	5.0	53.8	42.2	9840	597	13.5	339	419	59.9	2.79
36	360	145	7.5	12.3	14.0	6.0	61.9	48.6	13380	743	14.7	423	516	71.1	2.89
40	400	155	8.0	13.0	15.0	6.0	71.4	56.1	18930	947	16.3	540	666	85.9	3.05
45	450	160	8.6	14.2	16.0	7.0	83.0	65.2	27450	1220	18.2	699	807	101	3.12
50	500	170	9.5	15.2	17.0	7.0	97.8	76.8	39290	1570	20.0	905	1040	122	3.26
55	550	180	10.3	16.6	18.0	7.0	114	89.8	55150	2000	22.0	1150	1350	150	3.44
60	600	190	11.1	17.8	20.0	8.0	132	104	75450	2510	23.9	1450	1720	181	3.60
65	650	200	12	19.2	22.0	9.0	153	120	101400	3120	25.8	1800	2170	217	3.77
70	700	210	13	20.8	24.0	10.0	176	138	134600	3840	27.7	2230	2730	260	3.94
70a	700	210	15	24.0	24.0	10.0	202	158	152700	4360	27.5	2550	3240	309	4.01
70b	700	210	17.5	28.2	24.0	10.0	234	184	175370	5010	27.4	2940	3910	373	4.09

（三）热轧普通工字钢连接方式及尺寸（表 1-5-3）

表 1-5-3　热轧普通式字钢连接方式及尺寸

mm

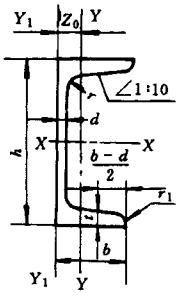




型号	焊接接头尺寸					螺栓、铆钉连接规线					最小弯曲半径			
											热　弯		冷　弯	
	L	l	a	c	e	b	a	a_1	D	t	R_1	R_2	R_1	R_2
10	88	77	32	4	5.5	68	36	—	12		210	305	815	1200
12.6	106	95	35		6.0	74	40				225	385	890	1510
14	126	113	38	5	6.5	80	44				245	430	960	1680
16	144	130	41		7.0	88	48		14		270	490	1055	1920
18	164	149	44	5	7.5	94	50	45	17		290	555	1130	2160
20a 20b	182	166	47		8.0 10.0	100 102	54	47			305 315	615	1200 1220	2400
22a 22b	202	185	52		8.5 10.5	110 112	60	48			340 345	675	1320 1345	2640
25a 25b	220	202	55		9 11	116 118	65	54	20		355 365	770	1390 1415	2995
28a 28b	248	229	58		9.5 11.5	122 124	66	56			375 380	860	1465 1490	3360
a 32b c	308	288	61	6	10.5 12.5 14.5	130 132 134	75	58	22		400 405 410	985	1560 1585 1610	3840
a 36b c	336	316	64		11.0 13.0 15.0	136 138 140	80	64			420 425 430	1105	1630 1655 1680	4320
a 40b c	376	354	66	7	11.5 13.5 15.5	142 144 146	80	65	24		435 440 450	1230	1705 1730 1750	4800
a 45b c	424	400	70		12.5 14.5 16.5	150 152 154	85	67			460 465 475	1380	1800 1825 1850	5395
a 50b c	472	446	74		13.0 15.0 17.0	158 160 162	90	70			485 490 500	1535	1895 1920 1940	6000
a 56b c	520	494	78	8	13.5 15.5 17.5	166 168 170	94	72	26		510 515 520	1720	1995 2015 2035	6720
a 63b c	590	564	83		14.0 16.0 18.0	176 178 180	95	75			540 545 565	1935	2110 2135 2160	7560

表 1-5-4　热轧普通槽钢

(GB707—88)



h—高度；
r_1—腿端圆弧半径；
b—腿宽度；
I—惯性矩；
d—腰厚度；
W—截面系数；
t—平均腿厚度；
i—惯性半径；
r—内圆弧半径；
Z_0—YY 轴与 Y_1Y_1 轴间距离

型号	尺寸 (mm)						截面面积 (cm²)	理论质量 (kg/m)	参考数值							
									$X-X$			$Y-Y$			Y_1-Y_1	Z_0(cm)
	h	b	d	t	r	r_1			W_X(cm³)	I_X(cm⁴)	i_X(cm)	W_Y(cm³)	I_Y(cm⁴)	i_Y(cm)	I_Y(cm⁴)	
5	50	37	4.5	7.0	7.0	3.50	6.928	5.438	10.4	26.0	1.94	3.55	8.3	1.10	20.9	1.35
6.3	63	40	4.8	7.5	7.5	3.75	8.451	6.634	16.1	50.8	2.453	4.50	11.92	1.19	28.4	1.36
8	80	43	5.0	8.0	8.0	4.0	10.248	8.045	25.3	101	3.15	5.79	16.6	1.27	37.4	1.43
10	100	48	5.3	8.5	8.5	4.25	12.748	10.007	39.7	198	3.95	7.80	25.6	1.41	54.9	1.52
12.6	126	53	5.5	9.0	9.0	4.5	15.692	12.318	62.1	391	4.953	10.2	38	1.57	77.1	1.59
14a	140	58	6.0	9.5	9.5	4.75	18.516	14.535	80.5	564	5.52	13.0	53.2	1.70	107	1.71
14b	140	60	8.0	9.5	9.5	4.75	21.316	16.733	87.1	609	5.35	14.1	61.1	1.69	121	1.67

型号	尺寸 (mm)						截面面积 (cm²)	理论质量 (kg/m)	参考数值							
									X−X			Y−Y			Y₁−Y₁	Z₀(cm)
	h	b	d	t	r	r₁			W_X(cm³)	I_X(cm⁴)	i_X(cm)	W_Y(cm³)	I_Y(cm⁴)	i_Y(cm)	I_Y(cm⁴)	
16a	160	63	6.5	10.0	10.0	5.0	21.962	17.240	108	866	6.28	16.30	73.3	1.83	144	1.80
16	160	65	8.5	10.0	10.0	5.0	25.162	19.752	117	935	6.10	17	83.4	1.82	161	1.75
18a	180	68	7.0	10.5	10.5	5.25	25.699	20.174	141	1270	7.04	20.0	98.6	1.96	190	1.88
18	180	70	9.0	10.5	10.5	5.25	29.299	23.000	152	1370	6.84	21.5	111	1.95	210	1.84
20a	200	73	7.0	11.0	11.0	5.5	28.837	22.637	178	1780	7.86	24.2	128	2.11	244	2.01
20	200	75	9.0	11.0	11.0	5.5	32.831	25.777	191	1910	7.64	25.9	144	2.09	268	1.95
22a	220	77	7.0	11.5	11.5	5.75	31.846	24.999	218	2390	8.67	28.2	158	2.23	298	2.10
22	220	79	9.0	11.5	11.5	5.75	39.246	28.453	234	2570	8.42	30.1	176	2.21	326	2.03
25a	250	78	7.0	12	12	6	34.917	27.410	270	3370	9.82	30.6	176	2.24	322	2.07
25b	250	80	9.0	12	12	6	39.917	31.335	282	3530	9.41	32.7	196	2.22	353	1.98
25c	250	82	11.0	12	12	6	44.917	35.260	295	3690	9.07	35.9	218	2.21	384	1.92
28a	280	82	7.5	12.5	12.5	6.25	40.034	31.427	340	4760	10.9	35.7	218	2.33	388	2.10
28b	280	84	9.5	12.5	12.5	6.25	45.634	35.823	366	5130	10.6	37.9	242	2.30	428	2.02
28c	280	86	11.5	12.5	12.5	6.25	51.234	40.219	393	5500	10.4	40.3	268	2.29	463	1.95
32a	320	88	8.0	14	14	7	48.513	38.083	475	7600	12.5	46.5	305	2.50	552	2.24
32b	320	90	10.0	14	14	7	54.913	43.107	509	8140	12.2	49.2	336	2.47	593	2.16
32c	320	92	12.0	14	14	7	61.313	48.131	543	8690	11.9	52.6	374	2.47	643	2.09
36a	360	96	9.0	16	16	8	60.910	47.814	660	11900	14.0	63.5	455	2.73	818	2.44

型号	尺寸 (mm)						截面面积 (cm²)	理论质量 (kg/m)	参考数值							
									X−X			Y−Y			Y_1-Y_1	Z_0(cm)
	h	b	d	t	r	r_1			W_X(cm³)	I_X(cm⁴)	i_X(cm)	W_Y(cm³)	I_Y(cm⁴)	i_Y(cm)	I_Y(cm⁴)	
36b	360	98	11.0	16	16	8	68.110	53.466	703	12700	13.6	66.9	497	2.70	880	2.37
36c	360	100	13.0	16	16	8	75.310	59.118	746	13400	13.4	70.0	536	2.67	948	2.34
40a	400	100	10.5	18	18	9	75.068	58.928	879	17600	15.3	78.8	592	2.81	1070	2.49
40b	400	102	12.5	18	18	9	83.068	65.208	932	18600	15.0	82.5	640	2.78	1140	2.44
40c	400	104	14.5	18	18	9	91.068	71.488	986	19700	14.7	86.1	688	2.75	1220	2.42
6.5①	65	40	4.8	7.5	7.5	3.75	8.547	6.709	17.0	55.2	2.54	4.59	12.0	1.19	28.3	1.38
12①	120	53	5.5	9.0	9.0	4.5	15.362	12.059	57.7	346	4.75	10.2	37.4	1.56	77.7	1.62
24a①	240	78	7.0	12.0	12.0	6.0	34.217	26.86	254	3050	9.45	30.5	174	2.25	325	2.10
24b①	240	80	9.0	12.0	12.0	6.0	39.017	30.628	274	3280	9.17	32.5	194	2.23	355	2.03
24c①	240	82	11.0	12.0	12.0	6.0	43.817	34.396	293	3570	8.96	34.4	213	2.21	388	2.00
27a①	270	82	7.5	12.5	12.5	6.25	39.284	30.838	323	4360	10.5	35.5	216	2.34	393	2.13
27b①	270	84	9.5	12.5	12.5	6.25	44.684	35.077	347	4690.1	10.3	37.7	239	2.31	428	2.06
27c①	270	86	11.5	12.5	12.5	6.25	50.084	39.316	372	5018.1	10.1	39.8	261	2.28	467	2.03
30a①	300	85	7.5	13.5	13.5	6.75	43.902	34.463	403	6047.9	11.7	41.1	260	2.43	467	2.17
30b①	300	87	9.5	13.5	13.5	6.75	49.902	39.173	433	6497.9	11.4	44.0	289	2.41	515	2.13
30c①	300	89	11.5	13.5	13.5	6.75	55.902	43.883	463	6947.9	11.2	46.4	316	2.38	560	2.09

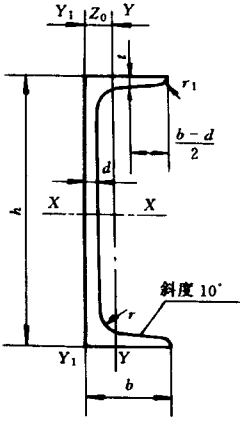
注：1. 槽钢的长度：$\dfrac{\text{型号}\quad 5\sim8}{\text{长度}\quad 5\sim12\text{m}}\left|\dfrac{10\sim18}{5\sim19\text{m}}\right|\dfrac{20\sim40}{6\sim19\text{m}}$。

2. 标记示例：普通碳素钢 Q235—A，尺寸为 180×68×7mm 的热轧槽钢标记为：热轧槽钢 $\dfrac{180\times68\times7\quad GB707-88}{Q235-A\quad GB700-88}$。

3. ① 表示此种型号经供需双方协议方可供应。

（五）热轧轻型槽钢 YB164-63（表 1-5-5）

表 1-5-5　热轧轻型槽钢



h—高度；
b—腿宽；
d—腰厚；
t—平均腿厚；
r—内圆弧半径；
Z_0—重心距离；
r_1—腿端圆弧半径；
I—惯性矩；
W—截面系数；
i—惯性半径；
S—半截面的静力矩

型号	尺寸(mm)						截面面积 (cm²)	理论质量 (kg/m)	参考数值							Z_0 (cm)
									$x-x$				$y-y$			
	h	b	d	t	r	r_1			I_x (cm⁴)	W_x (cm³)	i_x (cm)	S_x (cm³)	I_y (cm⁴)	W_y (cm³)	i_y (cm)	
5	50	32	4.4	7.0	6.0	2.5	6.16	4.84	22.8	9.10	1.92	5.59	5.61	2.75	0.954	1.16
6.5	65	36	4.4	7.2	6.0	2.5	7.512	5.90	48.6	15.0	2.54	9.00	8.70	3.68	1.08	1.24
8	80	40	4.5	7.4	6.5	2.5	8.98	7.05	89.4	22.4	3.16	13.3	12.8	4.75	1.19	1.31
10	100	46	4.5	7.6	7.0	3.0	10.90	8.59	174	34.8	3.99	20.4	20.4	6.46	1.37	1.44
12	120	52	4.8	7.8	7.5	3.0	13.30	10.4	304	50.6	4.78	29.6	31.2	8.52	1.53	1.54
14	140	58	4.9	8.1	8.0	3.0	15.60	12.3	491	70.2	5.60	40.8	45.4	11.0	1.70	1.67
14a	140	62	4.9	8.7	8.0	3.0	17.00	13.3	545	77.8	5.66	45.1	57.5	13.3	1.84	1.87
16	160	64	5.0	8.4	8.5	3.5	18.10	14.2	747	93.4	6.42	54.1	63.3	13.8	1.87	1.80
16a	160	68	5.0	9.0	8.5	3.5	19.50	15.3	823	103	6.49	59.4	78.8	16.4	2.01	2.00
18	180	70	5.1	8.7	9.0	3.5	20.70	16.3	1090	121	7.24	69.8	86.0	17.0	2.04	1.94
18a	180	74	5.1	9.3	9.0	3.5	22.20	17.4	1190	132	7.32	76.1	105	20.0	2.18	2.13
20	200	76	5.2	9.0	9.5	4.0	23.4	18.4	1520	152	8.07	87.8	113	20.5	2.20	2.07
20a	200	80	5.2	9.7	9.5	4.0	25.2	19.8	1670	167	8.15	95.9	139	24.2	2.35	2.28
22	220	82	5.4	9.5	10.0	4.0	26.7	21.0	2110	192	8.89	110	151	25.1	2.37	2.21
22a	220	87	5.4	10.2	10.0	4.0	28.8	22.6	2330	211	8.99	121	187	30.0	2.55	2.46
24	240	90	5.6	10.0	10.5	4.0	30.6	24.0	2900	242	9.73	139	208	31.6	2.60	2.42
24a	240	95	5.6	10.7	10.5	4.0	32.9	25.8	3180	265	9.84	151	254	37.2	2.78	2.67
27	270	95	6.0	10.5	11	4.5	35.2	27.7	4160	308	10.9	178	262	37.3	2.73	2.47
30	300	100	6.5	11.0	12	5	40.5	31.8	5180	387	12.0	224	327	43.6	2.84	2.52

型号	尺寸(mm)						截面面积 (cm²)	理论质量 (kg/m)	参考数值							Z_0 (cm)
									$x-x$				$y-y$			
	h	b	d	t	r	r_1			I_x (cm⁴)	W_x (cm³)	i_x (cm)	S_x (cm³)	I_y (cm⁴)	W_y (cm³)	i_y (cm)	
33	330	105	7.0	11.7	13	5	46.5	36.5	7980	484	13.1	281	410	51.8	2.97	2.59
36	360	110	7.5	12.6	14	6	53.4	41.9	10820	601	14.2	350	513	61.7	3.10	2.68
40	400	115	8.0	13.5	15	6	61.5	48.3	15220	761	15.7	444	642	73.4	3.23	2.75

注：1. 长度：

型　号	5～8	10～18	20～40
长　度 (m)	5～12	5～19	6～19

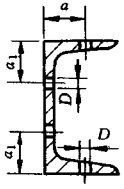
2. 标记示例：

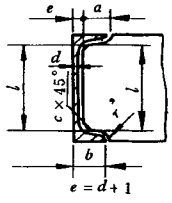
Q235 碳素结构钢 A 级沸腾钢 180×70×5.1 热轧轻型槽钢的标记为：热轧轻型槽钢 $\frac{180\times70\times5.1—YB164—63}{Q235—A\cdot F—GB700—88}$。

（六）热轧普通槽钢连接方式及尺寸（表 1-5-6）

表 1-5-6　热轧普通槽钢连接方式及尺寸

mm





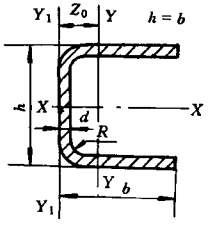
型号	焊接接头尺寸					螺栓、铆钉连接规线					最小弯曲半径					
											热　弯			冷　弯		
	L	l'	a	c	e	b	a	a_1	D	t	R_1	R_2	R_3	R_1	R_2	R_3
5	38	31	33	3	5.5	37	21	—	12		155	145	155	575	565	600
6.3	51	43	36	4	5.8	40	22				175	160	195	645	635	755
8	66	58	38	5	6.0	43	25	29	14		190	175	245	700	685	960
10	86	77	43		6.3	48	28	30			220	200	305	805	790	1200
12.6	104	94	48	6	6.5	53	30	34	18		250	230	385	910	890	1510
14a	124	114	52		7.0	58	35	36			270	250	430	1005	980	1680
14b					9.0	60					295	265		1065	1010	
16a	144	133	57		7.5	63	36	39	20		305	275	490	1105	1080	1920
16					9.5	65					320	290		1170	1140	
18a	162	150	61		8.0	68	38	40			335	305	555	1210	1180	2160
18					10.0	70					350	315		1270	1240	

型号	焊接接头尺寸					螺栓、铆钉连接规线					最小弯曲半径					
											热　弯			冷　弯		
	L	l'	a	c	e	b	a	a_1	D	t	R_1	R_2	R_3	R_1	R_2	R_3
20a	182	169	66	7	8.0	73	40	41	22		360	325	615	1300	1270	2400
20					10.0	75					375	340		1370	1335	
22a	200	186	70		8.0	77	42	43			380	345	675	1380	1345	2640
22					10.0	79					400	360		1450	1410	
a	230	215	72	7	8	78	45	46	26		390	350	770	1415	1380	2995
25b					10	80					410	370		1485	1445	
c					12	82					430	385		1550	1505	
a	258	242	76		8.5	82	46	48			415	375	860	1505	1465	3360
28b					10.5	84					445	400		1575	1530	
c					12.5	86					455	410		1640	1595	
a	296	278	80	8	9	88	49	50	30		445	405	985	1620	1575	3840
32b					11	90					455	420		1690	1640	
c					13	92					485	435		1770	1710	
a	334	316	88	9	11.0	96	55	55			490	445	1105	1775	1720	4320
36b					12.0	98					505	455		1835	1795	
c					14.0	100					525	470		1890	1840	
a	370	352	90	10	11.5	100	60	59			515	460	1230	1855	1805	4800
40b					13.5	102					530	475		1915	1860	
c					15.5	104					555	490		1970	1915	

（七）等边弯曲槽钢（表 1-5-7）

表 1-5-7　等边弯曲槽钢（h=b）的形状及截面尺寸

（YB98—63）



h—截面高度；
I—惯性矩；
b—腿宽；
W—截面系数；
d—截面厚度；
r—惯性半径；
R—内圆弧半径；
Z_0—轴心距离

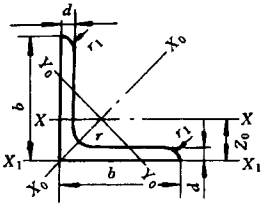
型号	尺　寸　(mm)				截面面积 (cm^2)	理论质量 (kg/m)	参　考　数　值								
							$X-X$			$Y-Y$			Y_1-Y_1	Z_0 (cm)
	h	b	d	R			W_X (cm^3)	I_X (cm^4)	r_X (cm)	W_Y (cm^3)	I_Y (cm^4)	r_Y (cm)	I_{Y1} (cm^4)	
1.6	16	16	2.0	2.0	0.83	0.65	0.39	0.31	0.61	0.20	0.20	0.49	0.54	0.64
2.0	20	20	2.0	2.0	1.07	0.84	0.87	0.67	0.79	0.34	0.42	0.86	1.05	0.77

型号	尺寸 (mm)				截面面积 (cm²)	理论质量 (kg/m)	参考数值								
							X−X			Y−Y			Y₁−Y₁	Z_0 (cm)	
	h	b	d	R			W_X (cm³)	I_X (cm⁴)	r_X (cm)	W_Y (cm³)	I_Y (cm⁴)	r_Y (cm)	I_{Y1} (cm⁴)		
2.5	25	25	2.0	2.0	1.37	1.07	1.12	1.40	1.01	0.56	0.87	0.80	2.08	0.94	
	25	25	2.5	2.5	1.67	1.31	1.30	1.63	0.99	0.68	1.04	0.79	2.61	0.97	
3.2	32	32	2.0	2.0	1.79	1.40	1.95	3.12	1.32	0.94	1.91	1.03	4.36	1.17	
	32	32	2.5	2.5	2.19	1.72	2.32	3.71	1.30	1.15	2.30	1.02	5.51	1.21	
	32	32	3.0	3.0	2.58	2.02	2.64	4.22	1.28	1.35	2.66	1.01	6.56	1.23	
4.0	40	40	2.0	2.0	2.27	1.78	3.18	6.36	1.67	1.50	3.83	1.30	8.54	1.44	
	40	40	2.5	2.5	2.79	2.19	3.81	7.63	1.65	1.84	4.66	1.29	10.69	1.47	
	40	40	3.0	3.0	3.30	2.59	4.39	8.78	1.63	2.18	5.45	1.28	12.87	1.50	
5.0	50	50	2.0	2.0	2.87	2.25	5.14	12.84	2.11	2.36	7.64	1.63	16.63	1.77	
	50	50	2.5	2.5	3.54	2.78	6.21	15.52	2.09	2.92	9.35	1.62	20.82	1.80	
	50	50	3.0	3.0	4.20	3.30	7.21	18.03	2.07	3.46	10.97	1.61	25.04	1.83	
6.0	60	60	2.0	2.0	3.46	2.72	7.56	22.67	2.56	3.43	13.41	1.96	28.81	2.11	
	60	60	2.5	2.5	4.29	3.37	9.19	27.58	2.54	4.26	16.46	1.96	36.11	2.14	
	60	60	3.0	3.0	5.10	4.00	10.68	32.05	2.51	5.05	19.39	1.95	43.18	2.16	
	60	60	4.0	4.0	6.67	5.23	13.52	40.56	2.46	6.58	24.87	1.93	57.74	2.22	
8.0	80	80	2.0	2.0	4.67	3.67	13.68	55.19	3.44	6.19	32.37	2.63	68.20	2.77	
	80	80	2.5	2.5	5.79	4.54	16.90	67.62	3.42	7.69	39.91	2.62	85.52	2.81	
	80	80	3.0	3.0	6.90	5.42	19.88	79.52	3.39	9.14	47.25	2.62	102.5	2.83	
	80	80	4.0	4.0	9.07	7.12	25.45	101.8	3.35	11.97	61.28	2.60	136.5	2.88	
	80	80	5.0	5.0	11.18	8.78	30.52	122.09	3.30	14.72	74.48	2.58	171.12	2.94	
10.0	100	100	2.0	2.0	5.87	4.61	21.01	109.54	4.32	9.74	63.91	3.30	133.4	3.44	
	100	100	2.5	2.5	7.29	5.72	26.95	134.75	4.30	12.10	79.02	3.29	166.8	3.47	
	100	100	3.0	3.0	8.70	6.83	31.83	159.13	4.28	14.43	93.86	3.28	200.4	3.50	
	100	100	4.0	4.0	11.47	9.00	41.08	205.42	4.23	18.97	122.37	3.27	266.92	3.55	
	100	100	5.0	5.0	14.18	11.13	49.70	248.52	4.19	22.26	142.43	3.17	326.18	3.60	
12.0	120	120	2.0	2.0	7.07	5.55	31.88	191.3	5.20	14.10	111.21	3.96	230.64	4.11	
	120	120	2.5	2.5	8.79	6.90	39.33	236.0	5.18	17.51	137.8	3.96	287.7	4.13	
	120	120	3.0	3.0	10.50	8.24	46.59	279.6	5.16	20.90	163.9	3.95	345.6	4.16	
	120	120	4.0	4.0	13.87	10.89	60.45	362.7	5.11	27.58	214.6	3.93	461.6	4.22	
	120	120	5.0	5.0	17.18	13.49	73.55	441.3	5.06	34.34	263.4	3.92	585.5	4.33	
	120	120	6.0	6.0	20.42	16.03	85.89	515.3	5.02	40.40	310.24	3.90	693.09	4.33	
16.0	160	160	2.0	2.0	9.47	7.43	57.43	459.5	6.96	25.00	266.0	5.30	546.2	5.44	
	160	160	2.5	2.5	11.79	9.25	71.08	568.7	6.94	31.36	330.2	5.29	683.0	5.47	
	160	160	3.0	3.0	14.10	11.07	84.46	675.7	6.90	37.49	393.6	5.28	820.2	5.50	
	160	160	4.0	4.0	18.67	14.66	110.39	883.1	6.88	49.56	517.9	5.27	1092.9	5.55	
	160	160	5.0	5.0	23.18	18.20	135.24	1081.9	6.83	61.41	638.6	5.25	1365.5	5.60	
	160	160	6.0	6.0	27.62	21.68	159.05	1272.4	6.79	73.12	756.01	5.23	1640.8	5.66	

注：用于支撑结构的宽厚比大于 16 的型钢，它的计算数据应根据需方专门规程的规定。

（八）热轧等边角钢（GB9787-88）（表 1-5-8）

表 1-5-8 等边角钢尺寸、截面面积、理论值及参考数值



b—边宽；
d—边厚；
r—内圆弧半径；
r_1—边端内弧半径，$r_1=\frac{1}{3}d$；
I—惯性矩；
W—截面系数；
i—惯性半径；
Z_0—重心距离

型号	尺寸 (mm)			截面面积 (cm^2)	理论质量 (kg/m)	外表面积 (m^2/m)	参考数值										
							$X-X$			X_0-X_0			Y_0-Y_0			X_1-X_1	Z_0 (cm)
	b	d	r				I_X (cm^4)	i_X (cm)	W_X (cm^3)	I_{X_0} (cm^4)	i_{X_0} (cm)	W_{X_0} (cm^3)	I_{Y_0} (cm^4)	i_{Y_0} (cm)	W_{Y_0} (cm^3)	I_{X_1} (cm^4)	
2	20	3	3.5	1.132	0.889	0.078	0.40	0.59	0.29	0.63	0.75	0.45	0.17	0.39	0.20	0.81	0.60
		4		1.459	1.145	0.077	0.50	0.58	0.36	0.78	0.73	0.55	0.22	0.38	0.24	1.09	0.64
2.5	25	3		1.432	1.124	0.098	0.82	0.76	0.46	1.29	0.95	0.73	0.34	0.40	0.33	1.57	0.73
		4		1.859	1.459	0.097	1.03	0.74	0.50	1.62	0.93	0.92	0.43	0.48	0.40	2.11	0.76
3.0	30	3	4.5	1.749	1.373	0.117	0.46	0.91	0.68	2.31	1.15	1.09	0.61	0.59	0.51	2.71	0.85
		4		2.276	1.786	0.117	1.84	0.90	0.87	2.92	1.13	1.37	0.77	0.58	0.62	3.63	0.89
3.6	36	3		2.109	1.656	0.141	2.58	1.11	0.99	1.09	1.39	1.61	1.07	0.71	0.76	4.68	1.00
		4		2.756	2.163	0.141	3.29	1.09	1.28	5.22	1.38	2.05	1.37	0.70	0.93	6.25	1.04
		5		3.382	2.654	0.141	3.95	1.08	1.56	6.24	1.36	2.45	1.65	0.70	1.09	7.84	1.07
4	40	3	5	2.359	1.852	0.157	3.59	1.23	1.23	5.69	1.55	2.01	1.49	0.79	0.96	6.41	1.09
		4		3.086	2.422	0.157	4.60	1.22	1.60	7.29	1.54	2.58	1.91	0.79	1.19	8.56	1.13
		5		3.791	2.976	0.156	5.53	1.21	1.96	8.76	1.52	3.10	2.30	0.78	1.39	10.74	1.17
4.5	45	3		2.659	2.088	0.177	5.17	1.40	1.58	8.20	1.76	2.58	2.14	0.89	1.24	9.12	1.22
		4		3.486	2.736	0.177	6.65	1.38	2.05	10.56	1.74	3.32	2.75	0.89	1.54	12.18	1.26
		5		4.292	3.369	0.176	8.04	1.37	2.51	12.74	1.72	4.00	3.33	0.88	1.81	15.2	1.30
		6		5.076	3.985	0.176	9.33	1.36	2.95	14.76	1.70	4.64	3.89	0.88	2.06	18.36	1.33

型号	尺寸 (mm)			截面面积 (cm²)	理论质量 (kg/m)	外表面积 (m²/m)	参考数值										
							$X-X$			X_0-X_0			Y_0-Y_0			X_1-X_1	Z_0 (cm)
	b	d	r				I_X (cm⁴)	i_X (cm)	W_X (cm³)	I_{X_0} (cm⁴)	i_{X_0} (cm)	W_{X_0} (cm³)	I_{Y_0} (cm⁴)	i_{Y_0} (cm)	W_{Y_0} (cm³)	I_{X_1} (cm⁴)	
5	50	3	5.5	2.971	2.332	0.197	7.18	1.55	1.96	11.37	1.96	3.22	2.98	1.00	1.57	12.50	1.34
		4		3.897	3.059	0.197	9.26	1.54	2.56	14.70	1.94	4.16	3.82	0.99	1.96	16.69	1.38
		5		4.803	3.770	0.196	11.21	1.53	3.13	17.79	1.92	5.03	4.64	0.98	2.31	20.90	1.42
		6		5.688	4.465	0.196	13.05	1.52	3.68	20.68	1.91	5.85	5.42	0.98	2.63	25.14	1.46
5.6	56	3	6	3.343	2.624	0.221	10.19	1.75	2.48	16.14	2.20	4.08	4.24	1.13	2.02	17.56	1.48
		4		4.390	3.446	0.220	13.18	1.73	3.24	20.92	2.18	5.28	5.46	1.11	2.52	23.43	1.53
		5		5.415	4.251	0.220	16.02	1.72	3.97	25.42	2.17	6.42	6.61	1.10	2.98	29.33	1.57
		8		8.367	6.568	0.219	23.63	1.68	6.03	37.37	2.11	9.44	9.89	1.09	4.16	47.24	1.68
6.3	63	4	7	4.978	3.907	0.248	19.03	1.96	4.13	30.17	2.46	6.78	7.89	1.26	3.29	33.35	1.70
		5		6.143	4.822	0.248	23.17	1.94	5.08	36.77	2.45	8.25	9.57	1.25	3.90	41.73	1.74
		6		7.288	5.721	0.247	27.12	1.93	6.00	43.03	2.43	9.66	11.20	1.24	4.46	50.14	1.78
		8		0.515	7.469	0.247	34.46	1.90	7.75	54.56	2.40	12.25	14.33	1.23	5.47	67.11	1.85
		10		11.657	9.151	0.246	41.09	1.88	9.39	64.85	2.36	14.56	17.33	1.22	6.36	84.31	1.93
7	70	4	8	5.570	4.372	0.275	26.39	2.18	5.14	41.80	2.74	8.44	10.99	1.40	4.17	45.74	1.86
		5		6.875	5.397	0.275	32.21	2.16	6.32	51.08	2.73	10.32	13.34	1.39	4.95	57.21	1.91
		6		8.160	6.406	0.275	37.77	2.15	7.48	59.93	2.71	12.11	15.61	1.38	5.67	68.73	1.95
		7		9.424	7.398	0.275	43.09	2.14	8.59	68.35	2.69	13.81	17.82	1.38	6.34	80.29	1.99
		8		10.667	8.373	0.274	48.17	2.12	9.68	76.37	2.68	15.43	19.98	1.37	6.98	91.92	2.03
7.5	75	5	9	7.412	5.818	0.295	39.97	2.33	7.32	63.30	2.92	11.94	16.63	1.50	5.77	70.56	2.04
		6		8.797	6.905	0.294	46.95	2.31	8.64	74.38	2.90	14.02	19.51	1.49	6.67	84.55	2.07
		7		10.160	7.976	0.294	53.57	2.30	9.93	84.96	2.89	16.02	22.18	1.48	7.44	98.71	2.11
		8		11.503	9.030	0.294	59.96	2.28	11.20	95.07	2.88	17.93	24.86	1.47	8.19	112.97	2.15
		10		14.126	11.089	0.293	71.98	2.26	13.64	113.92	2.84	21.48	30.05	1.46	9.56	141.71	2.22
8	80	5		7.912	6.211	0.315	48.79	2.48	8.34	77.33	3.13	13.67	20.25	1.60	6.66	85.36	2.15
		6		9.397	7.376	0.314	57.35	2.47	9.87	90.98	3.11	16.08	23.72	1.59	7.65	102.50	2.19
		7		10.860	8.525	0.314	65.58	2.46	11.37	104.07	3.10	18.40	27.09	1.58	8.58	119.70	2.23
		8		12.303	9.658	0.314	73.49	2.44	12.83	116.60	3.08	20.61	30.39	1.57	9.46	136.97	2.27
		10		15.126	11.874	0.313	88.43	2.42	15.64	140.09	3.04	24.76	36.77	1.56	11.08	171.74	2.35

型号	尺寸 (mm)			截面面积 (cm²)	理论质量 (kg/m)	外表面积 (m²/m)	参考数值										
							$X-X$			X_0-X_0			Y_0-Y_0			X_1-X_1	Z_0 (cm)
	b	d	r				I_X (cm⁴)	i_X (cm)	W_X (cm³)	I_{X_0} (cm⁴)	i_{X_0} (cm)	W_{X_0} (cm³)	I_{Y_0} (cm⁴)	i_{Y_0} (cm)	W_{Y_0} (cm³)	I_{X_1} (cm⁴)	
9	90	6	10	10.637	8.350	0.354	82.77	2.79	12.61	131.26	3.51	20.63	34.28	1.80	9.95	145.87	2.44
		7		12.301	9.656	0.354	94.83	2.78	14.54	150.47	3.50	23.64	39.18	1.78	11.19	170.30	2.48
		8		13.944	10.946	0.353	106.47	2.76	16.42	168.97	3.48	26.55	43.97	1.78	12.35	194.80	2.52
		10		17.167	13.476	0.353	128.58	2.74	20.07	203.90	3.45	32.04	53.26	1.76	14.52	244.07	2.59
		12		20.306	15.940	0.352	149.22	2.71	23.57	236.21	3.41	37.12	62.22	1.75	16.49	293.76	2.67
10	100	6	12	11.932	9.366	0.393	114.95	3.10	15.68	181.98	3.90	25.74	47.92	2.00	12.69	200.07	2.67
		7		13.796	10.830	0.393	131.86	3.09	18.10	208.97	3.89	29.55	54.74	1.99	14.26	233.54	2.71
		8		15.638	12.276	0.393	148.24	3.08	20.47	235.07	3.88	33.24	61.41	1.98	15.75	267.09	2.76
		10		19.261	15.120	0.392	179.51	3.05	25.06	284.68	3.84	40.26	74.35	1.96	18.51	334.48	2.84
		12		22.800	17.898	0.391	208.90	3.03	29.48	330.95	3.81	46.80	86.84	1.95	21.08	402.34	2.91
		14		26.256	20.611	0.391	236.53	3.00	33.73	374.06	3.77	52.90	99.00	1.94	23.44	470.75	2.99
		16		29.627	23.257	0.390	262.53	2.98	37.82	414.16	3.74	58.57	110.89	1.94	25.63	539.80	3.06
11	110	7		15.196	11.928	0.433	177.16	3.41	22.05	280.04	4.30	36.12	73.38	2.20	17.51	310.64	2.96
		8		17.238	13.532	0.433	199.46	3.40	24.95	316.49	4.28	40.69	82.42	2.19	19.39	355.20	3.01
		10		21.261	16.690	0.432	242.19	3.38	30.60	384.39	4.25	49.42	99.98	2.17	22.91	444.65	3.09
		12		25.200	19.782	0.431	282.55	3.35	36.05	448.17	4.22	57.62	116.93	2.15	26.15	534.60	3.16
		14		29.056	22.809	0.431	320.71	3.32	41.31	508.01	4.18	65.31	133.40	2.14	29.14	625.16	3.24

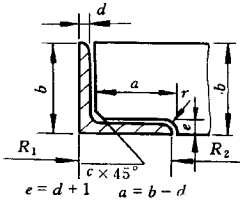
型号	尺寸 (mm)			截面面积 (cm²)	理论质量 (kg/m)	外表面积 (m²/m)	参考数值										Z_0 (cm)
							$X-X$			X_0-X_0			Y_0-Y_0			X_1-X_1	
	b	d	r				I_X (cm⁴)	i_X (cm)	W_X (cm³)	I_{X_0} (cm⁴)	i_{X_0} (cm)	W_{X_0} (cm³)	I_{Y_0} (cm⁴)	i_{Y_0} (cm)	W_{Y_0} (cm³)	I_{X_1} (cm⁴)	
12.5	125	8	14	19.750	15.504	0.492	297.03	3.88	32.52	470.89	4.88	53.28	123.16	2.50	25.86	521.01	3.37
		10		24.373	19.133	0.491	361.67	3.85	39.97	573.89	4.85	64.93	149.40	2.48	30.62	651.93	3.45
		12		28.912	22.696	0.491	423.16	3.83	41.17	671.44	4.82	75.96	174.88	2.46	35.03	783.42	3.53
		14		38.367	26.193	0.490	481.65	3.80	54.16	763.73	4.78	86.41	199.57	2.45	39.13	915.61	3.61
14	140	10		27.373	21.488	0.551	514.65	4.34	50.58	817.27	5.46	82.56	212.04	2.78	39.20	915.11	3.82
		12		32.512	25.522	0.551	603.68	4.31	59.80	958.79	5.43	96.85	248.57	2.76	45.02	1099.28	3.90
		14		37.567	29.490	0.550	688.81	4.28	68.75	1093.56	5.40	110.47	284.06	2.75	50.45	1284.22	3.98
		16		42.539	33.393	0.549	770.24	4.26	77.46	1221.81	5.36	123.42	318.67	2.74	55.55	1470.07	4.06
16	160	10	16	31.502	24.729	0.630	779.53	4.98	66.70	1237.30	6.27	109.36	321.76	3.20	52.76	1365.33	4.31
		12		37.441	29.391	0.630	916.58	4.95	78.98	1455.68	6.24	128.67	377.49	3.18	60.74	1639.57	4.39
		14		43.296	33.987	0.629	1048.36	4.92	90.95	1665.02	6.20	147.17	431.70	3.16	68.24	1914.68	4.47
		16		49.067	38.518	0.629	1175.08	4.89	102.63	1865.57	6.17	164.89	484.59	3.14	75.31	2190.82	4.55
18	180	12		42.241	33.159	0.710	1321.35	5.59	100.82	2100.10	7.05	165.00	542.61	3.58	78.41	2332.80	4.89
		14		48.896	38.383	0.709	1514.48	5.56	116.25	2407.42	7.02	189.14	621.53	3.56	88.38	2723.48	4.97
		16		55.467	43.542	0.709	1700.99	5.54	131.13	2703.37	6.98	212.40	698.60	3.55	97.83	3115.29	5.05
		18		51.955	48.634	0.708	1875.12	5.50	145.64	2988.24	6.94	234.78	762.01	3.51	105.14	3502.43	5.13
20	200	14	18	54.642	42.894	0.788	2103.55	6.20	144.70	3343.26	7.82	236.40	863.83	3.98	111.82	3734.10	5.46
		16		62.013	48.680	0.788	2366.15	6.18	163.65	3760.89	7.79	265.93	971.41	3.96	123.96	4270.39	5.54
		18		69.301	54.401	0.787	2620.64	6.15	182.22	4164.54	7.75	294.48	1076.74	3.94	135.52	4808.13	5.62
		20		76.505	60.056	0.787	2867.30	6.12	200.42	4554.55	7.72	322.06	1180.04	3.93	146.55	5347.51	5.69
		24		90.661	71.168	0.785	3338.25	6.07	236.17	5294.97	7.64	374.41	1381.53	3.90	166.65	6457.16	5.87

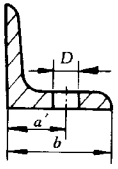
注：截面图中的 $r_1=1/3d$ 及表中 r 值的数据用于孔型设计，不做交货条件。

（九）等边角钢连接方式及尺寸（表 1-5-9）

表 1-5-9　等边角钢连接方式及尺寸

mm



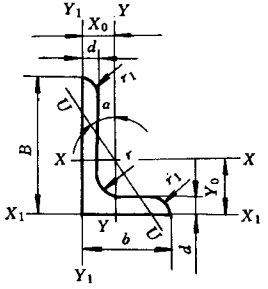


角钢尺寸		焊接接头尺寸			螺栓、铆钉连接规线		最小弯曲半径			
							热　弯		冷　弯	
b	d	a	e	c	a'	D	R_1	R_2	R_1	R_2
20	3	17	4	3	13	4.5	95	85	345	335
	4	16	5				90	85	335	325
25	3	22	4		15	5.5	120	110	435	425
	4	21	5				115	105	425	415
30	3	27	4	4	18	6.6	145	130	530	515
	4	26	5				140	130	520	505
36	3	33	4		20	9	175	160	640	625
	4	32	5				170	155	630	615
	5	31	6				170	145	620	605
40	3	37	4	5	22	11	195	180	735	715
	4	36	5				195	175	705	690
	5	35	6				190	170	695	680
45	3	42	4		25		220	200	810	790
	4	41	5				220	200	800	775
	5	40	6				215	195	790	770
	6	39	7				215	195	780	760
50	3	47	4		30	13	250	225	900	880
	4	46	5				245	220	880	860
	5	45	6				240	220	880	860
	6	44	7				240	220	870	850
56	3	53	4	6			280	255	1000	1090
	4	52	5				275	250	1000	980
	5	51	6				270	250	990	965
	8	48	9				265	240	965	940
63	4	59	5	7	35	17	310	285	1135	1105
	5	58	6				310	280	1120	1095
	6	57	7				305	280	1110	1085
	8	55	9				300	275	1090	1065
	10	53	11				295	270	1070	1045
70	4	66	5	8	40	20	350	315	1265	1235
	5	65	6				345	315	1255	1220
	6	64	7				340	310	1240	1210
	7	63	8				340	310	1230	1200
	8	62	9				335	305	1225	1195

角钢尺寸		焊接接头尺寸			螺栓、铆钉连接规线		最小弯曲半径			
							热　弯		冷　弯	
b	d	a	e	c	a'	D	R_1	R_2	R_1	R_2
75	5	70	6	9	45	21.5	370	335	1345	1310
	6	69	7				365	335	1335	1305
	7	68	8				365	330	1330	1295
	8	67	9				360	330	1330	1285
	10	65	11				355	325	1300	1265
80	5	75	6				395	360	1440	1400
	6	74	7				395	360	1430	1390
	7	73	8				390	355	1420	1385
	8	72	9				385	350	1420	1375
	10	70	11				380	345	1390	1355
90	6	84	7	10	50	23.5	445	405	1615	1575
	7	83	8				440	400	1605	1565
	8	82	9				440	400	1600	1560
	10	80	11				435	395	1575	1535
	12	78	13				425	390	1555	1515
100	6	94	7	12	55		495	450	1815	1765
	7	93	8				495	450	1795	1745
	8	92	9				485	440	1780	1740
	10	90	11				485	440	1765	1720
	12	88	13				475	435	1740	1700
	14	86	15				470	430	1720	1680
	16	84	17				465	425	1705	1665
110	7	103	8		60	26	555	505	1980	1930
	8	102	9				550	490	1965	1915
	10	100	11				535	490	1945	1895
	12	98	13				530	480	1930	1880
	14	96	15				520	475	1910	1860
125	8	117	9	14	70	26	620	560	2245	2190
	10	115	11				610	555	2225	2170
	12	113	13				600	550	2205	2150
	14	111	15				600	545	2205	2150
140	10	130	11				690	625	2500	2440
	12	128	13				680	620	2485	2425
	14	126	15				675	615	2460	2400
	16	124	17				670	610	2440	2380
160	10	150	11	16			790	720	2875	2805
	12	148	13				785	715	2855	2785
	14	146	15				775	705	2840	2765
	16	144	17				775	705	2815	2745
180	12	168	13	16			890	805	3230	3150
	14	166	15				880	800	3210	3130
	16	164	17				875	795	3190	3110
	18	162	19				870	790	3160	3080
200	14	186	15	18			985	895	3575	3485
	16	184	17				980	890	3565	3475
	18	182	19				970	885	3535	3445
	20	180	21				965	880	3525	3435
	24	176	25				950	870	3470	3390

（十）热轧不等边角钢（GB9788-88）（表 1-5-10）

表 1-5-10 不等边角钢尺寸、截面面积、理论重量及参考数值



B—长边宽度；
b—短边宽度；
d—边厚；
r—内圆弧半径；
r_1—边端内弧半径，$r_1=\frac{1}{3}d$；
I—惯性矩；
i—惯性半径；
W—截面系数；
X_0—重心距离；
Y_0—重心距离

型号	尺寸 (mm)				截面面积 (cm²)	理论质量 (kg/m)	外表面积 (m²/m)	参考数值												
								$X-X$			$Y-Y$			X_1-X_1		Y_1-Y_1		$U-U$			
	B	b	d	r				I_X (cm⁴)	i_X (cm)	W_X (cm³)	I_Y (cm⁴)	i_Y (cm)	W_Y (cm³)	I_{X_1} (cm⁴)	Y_0 (cm)	I_{Y_1} (cm⁴)	X_0 (cm)	I_u (cm⁴)	i_u (cm)	W_u (cm³)	$\mathrm{tg}\alpha$
2.5/1.6	25	16	3	3.5	1.162	0.912	0.080	0.70	0.78	0.43	0.22	0.44	0.19	1.56	0.86	0.43	0.42	0.14	0.34	0.16	0.392
			4		1.499	1.176	0.079	0.88	0.77	0.55	0.27	0.48	0.24	2.09	0.90	0.59	0.46	0.17	0.34	0.20	0.381
3.2/2	32	20	3		1.492	1.171	0.102	1.53	1.01	0.72	0.16	0.55	0.30	3.27	1.03	0.82	0.49	0.28	0.43	0.25	0.382
			4		1.939	1.522	0.101	1.93	1.00	0.93	0.17	0.54	0.39	4.37	1.12	1.12	0.53	0.35	0.42	0.32	0.374
4/2.5	40	25	3	4	1.890	1.484	0.127	3.08	1.28	1.15	0.93	0.70	0.49	5.39	1.32	1.59	0.59	0.56	0.54	0.40	0.385
			4		2.467	1.936	0.127	3.93	1.36	1.49	1.18	0.69	0.63	8.53	1.37	2.14	0.63	0.71	0.54	0.52	0.381
4.5/2.8	45	28	3	5	2.149	1.687	0.143	4.45	1.44	1.47	1.34	0.79	0.62	9.10	1.47	2.23	0.64	0.80	0.61	0.51	0.383
			4		2.806	2.203	0.143	5.69	1.42	1.91	1.70	0.78	0.80	12.13	1.51	3.00	0.68	1.02	0.60	0.66	0.380
5/3.2	50	32	3	5.5	2.431	1.908	0.161	6.24	1.60	1.84	2.02	0.91	0.82	12.49	1.60	3.31	0.73	1.20	0.70	0.68	0.404
			4		3.177	2.494	0.160	8.02	1.59	2.39	2.58	0.90	1.06	16.65	1.65	4.45	0.77	1.53	0.69	0.87	0.402
5.6/3.6	56	36	3	6	2.743	2.153	0.181	8.88	1.80	2.32	2.92	1.03	1.05	17.54	1.78	4.70	0.80	1.73	0.79	0.87	0.408
			4		3.590	2.818	0.180	11.45	1.79	3.03	3.76	1.02	1.37	23.39	1.82	6.33	0.85	2.23	0.79	1.13	0.408
			5		4.415	3.466	0.180	13.86	1.77	3.71	4.49	1.01	1.65	29.25	1.87	7.94	0.88	2.67	0.78	1.36	0.404

型号	尺寸 (mm)				截面面积 (cm²)	理论质量 (kg/m)	外表面积 (m²/m)	参考数值											
								X—X			Y—Y			$X_1—X_1$		$Y_1—Y_1$		U—U			
	B	b	d	r				I_X (cm⁴)	i_X (cm)	W_X (cm³)	I_Y (cm⁴)	i_Y (cm)	W_Y (cm³)	I_{X_1} (cm⁴)	Y_0 (cm)	I_{Y_1} (cm⁴)	X_0 (cm)	I_u (cm⁴)	i_u (cm)	W_u (cm³)	tgα
6.3/4	63	40	4	7	4.058	3.185	0.202	16.49	2.02	3.87	5.23	1.14	1.70	33.30	2.04	8.63	0.92	3.12	0.88	1.40	0.398
			5		4.993	3.920	0.202	20.02	2.00	4.74	6.31	1.12	2.71	41.63	2.08	10.80	0.95	3.76	0.87	1.71	0.396
			6		5.908	4.638	0.201	23.36	1.96	5.59	7.29	1.11	2.43	49.98	2.12	13.12	0.99	4.34	0.86	1.99	0.393
			7		6.802	5.339	0.201	26.53	1.98	6.40	8.24	1.10	2.78	58.07	2.15	15.47	1.03	4.97	0.86	2.29	0.389
7/4.5	70	45	4	7.5	4.547	3.570	0.226	23.17	2.26	4.86	7.55	1.29	2.17	45.92	2.24	12.26	1.02	4.40	0.98	1.77	0.410
			5		5.609	4.403	0.225	27.95	2.23	5.92	9.13	1.28	2.65	57.10	2.28	15.39	1.06	5.40	0.98	2.19	0.407
			6		6.647	5.218	0.225	32.54	2.21	6.95	10.62	1.26	3.12	68.35	2.32	18.58	1.09	6.35	0.98	2.59	0.404
			7		7.657	6.011	0.225	37.22	2.20	8.03	12.01	1.25	3.57	79.99	2.36	21.84	1.13	7.16	0.97	2.94	0.402
(7.5/5)	75	50	5	8	6.125	4.808	0.245	34.86	2.39	6.83	12.61	1.44	3.30	70.00	2.40	21.04	1.17	7.41	1.10	2.74	0.435
			6		7.260	5.699	0.245	41.12	2.38	8.12	14.70	1.42	3.88	84.30	2.44	25.37	1.21	8.54	1.08	3.19	0.435
			8		9.467	7.431	0.244	52.39	2.35	10.52	18.53	1.40	4.99	112.50	2.52	34.23	1.29	10.87	1.07	4.10	0.429
			10		11.590	9.098	0.244	62.71	2.33	12.79	21.96	1.38	6.04	140.80	2.60	43.43	1.36	13.10	1.06	4.99	0.423
8/5	80	50	5		6.375	5.005	0.255	41.96	2.56	7.78	12.82	1.42	3.32	85.21	2.60	21.06	1.14	7.66	1.10	2.74	0.388
			6		7.560	5.935	0.255	49.49	2.56	9.25	14.95	1.41	3.91	102.53	2.65	25.41	1.18	8.85	1.08	3.20	0.387
			7		8.724	6.848	0.255	56.16	2.54	10.58	16.96	1.39	4.48	119.33	2.69	29.82	1.21	10.18	1.08	3.70	0.384
			8		9.867	7.745	0.254	62.83	2.52	11.92	18.85	1.38	5.03	136.41	2.73	34.32	1.25	11.38	1.07	4.16	0.381
9/5.6	90	56	5	9	7.212	5.661	0.287	60.45	2.90	9.92	18.32	1.59	4.21	121.32	2.91	29.53	1.25	10.98	1.23	3.49	0.385
			6		8.557	6.717	0.286	71.03	2.88	11.74	21.42	1.58	4.96	145.59	2.95	35.58	1.29	12.90	1.23	4.13	0.384
			7		9.880	7.756	0.286	81.01	2.86	13.49	24.36	1.57	5.70	169.60	3.00	41.71	1.33	14.67	1.22	4.72	0.382
			8		11.183	8.779	0.286	91.03	2.85	15.27	27.15	1.56	6.41	194.17	3.04	47.93	1.36	16.34	1.21	5.29	0.380
10/6.3	100	63	6	10	9.617	7.550	0.320	99.06	3.21	14.64	30.94	1.79	6.35	199.71	3.24	50.50	1.43	18.42	1.38	5.25	0.394
			7		11.111	8.722	0.320	113.45	3.20	16.88	35.26	1.78	7.29	233.00	3.28	59.14	1.47	21.00	1.38	6.02	0.394
			8		12.584	9.878	0.319	127.37	3.18	19.08	39.39	1.77	8.21	266.32	3.32	67.88	1.50	23.50	1.37	6.78	0.391
			10		15.467	12.142	0.319	153.81	3.15	23.32	47.12	1.74	9.98	333.06	3.40	85.73	1.58	28.33	1.35	8.24	0.387
10/8	100	80	6		10.637	8.350	0.354	107.04	3.17	15.19	61.24	2.40	10.16	199.83	2.95	102.68	1.97	31.65	1.72	8.37	0.627
			7		12.301	9.656	0.354	122.73	3.16	17.52	70.08	2.39	11.71	233.20	3.00	119.98	2.01	36.17	1.72	9.60	0.626
			8		13.944	10.946	0.353	137.92	3.14	19.81	78.58	2.37	13.21	266.61	3.04	137.37	2.05	40.58	1.71	10.80	0.625
			10		17.167	13.476	0.353	166.87	3.12	24.24	94.65	2.35	16.12	333.63	3.12	172.48	2.13	49.10	1.69	13.12	0.622

型号	尺寸 (mm)				截面面积 (cm²)	理论质量 (kg/m)	外表面积 (m²/m)	参考数值											
								$X-X$			$Y-Y$			X_1-X_1	Y_1-Y_1		$U-U$			
	B	b	d	r				I_X (cm⁴)	i_X (cm)	W_X (cm³)	I_Y (cm⁴)	i_Y (cm)	W_Y (cm³)	I_{X_1} (cm⁴)	Y_0 (cm)	I_{Y_1} (cm⁴)	X_0 (cm)	I_u (cm⁴)	i_u (cm)	W_u (cm³)	$\mathrm{tg}\alpha$
11/7	110	70	6	10	10.637	8.350	0.354	133.37	3.54	17.85	42.92	2.01	7.90	265.78	3.53	69.08	1.57	25.36	1.54	6.53	0.403
			7		12.301	9.656	0.354	153.00	3.53	20.60	49.01	2.00	9.09	310.07	3.57	80.82	1.61	28.95	1.53	7.50	0.402
			8		13.944	10.946	0.353	172.04	3.51	23.30	54.87	1.98	10.25	354.39	3.62	92.70	1.65	32.45	1.53	8.45	0.401
			10		17.167	13.476	0.353	208.39	3.48	28.54	65.88	1.96	12.48	443.13	3.70	116.83	1.72	39.20	1.51	10.29	0.397
12.5/8	125	80	7	11	14.096	11.066	0.403	227.98	4.02	26.86	74.42	2.30	12.01	454.99	4.01	120.32	1.80	43.81	1.76	9.92	0.408
			8		15.989	12.551	0.403	256.77	4.01	30.41	83.49	2.28	13.56	519.99	4.06	137.85	1.84	49.15	1.75	11.18	0.407
			10		19.712	15.474	0.402	312.04	3.98	37.33	100.67	2.26	16.56	650.09	4.14	173.40	1.92	59.45	1.74	13.64	0.404
			12		23.351	18.330	0.402	364.41	3.95	44.01	116.67	2.24	19.43	780.39	4.22	209.67	2.00	69.35	1.72	16.01	0.400
14/9	140	90	8	12	18.083	14.160	0.453	365.64	4.50	38.48	120.69	2.59	17.34	730.53	4.50	195.79	2.04	70.83	1.98	14.31	0.411
			10		22.261	17.475	0.452	445.50	4.47	47.31	140.03	2.56	21.22	913.20	4.58	245.92	2.12	85.82	1.96	17.48	0.409
			12		26.400	20.724	0.451	521.59	4.44	55.87	169.79	2.54	24.95	1096.09	4.66	296.89	2.19	100.21	1.95	20.54	0.406
			14		30.450	23.908	0.451	594.10	4.42	64.18	192.10	2.51	28.54	1279.26	4.74	348.82	2.27	114.13	1.94	23.52	0.403
16/10	160	100	10	13	25.315	19.872	0.512	668.69	5.14	62.13	205.03	2.85	26.56	1362.89	5.24	336.59	2.28	121.74	2.19	21.92	0.390
			12		30.054	23.592	0.511	784.91	5.11	73.49	239.06	2.82	31.28	1635.56	5.32	405.94	2.36	142.33	2.17	25.79	0.388
			14		34.709	27.247	0.510	896.30	5.03	84.56	271.20	2.80	35.83	1908.50	5.40	476.42	2.43	162.23	2.16	29.56	0.385
			16		39.281	30.835	0.510	1003.04	5.05	95.33	301.60	2.77	40.24	2181.79	5.48	548.22	2.51	182.57	2.16	33.44	0.382
18/11	180	110	10	14	28.373	22.273	0.571	956.25	5.80	78.96	278.11	3.13	32.49	1940.40	5.89	447.22	2.44	166.50	2.42	26.88	0.376
			12		33.712	26.464	0.571	1124.72	5.78	93.53	325.03	3.10	38.32	2328.38	5.98	538.94	2.52	194.87	2.40	31.66	0.374
			14		38.967	30.589	0.570	1286.91	5.75	107.76	369.55	3.08	43.97	2716.60	6.06	631.95	2.59	222.30	2.39	36.32	0.372
			16		44.139	34.649	0.569	1443.06	5.72	121.64	411.85	3.06	49.44	3105.15	6.14	726.46	2.67	248.94	2.38	40.87	0.369
20/12.5	200	125	12		37.912	29.761	0.641	1570.90	6.44	116.73	483.16	3.57	49.99	3193.85	6.54	787.74	2.83	285.79	2.74	41.23	0.392
			14		43.867	34.436	0.640	1800.97	6.41	134.65	550.83	3.54	57.44	3726.17	6.62	922.47	2.91	326.58	2.73	47.34	0.390
			16		49.739	39.045	0.639	2023.35	6.38	152.18	615.44	3.52	64.69	4258.86	6.70	1058.86	2.99	366.21	2.71	53.32	0.388
			18		55.526	43.588	0.639	2238.30	6.35	169.33	677.19	3.49	71.74	4792.00	6.78	1197.13	3.06	404.83	2.70	59.18	0.385

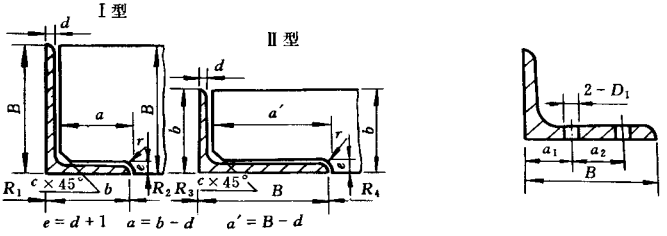
注：1. 括号内型号不推荐使用。

2. 截面图中的 $r_1=1/3d$ 及表中 y 值的数据用于孔型设计，不做交货条件。

（十一）不等边角钢连接方式及尺寸（表 1-5-11）

表 1-5-11　不等边角钢连接方式及尺寸

mm



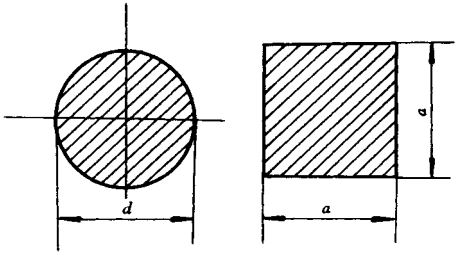
角钢尺寸			焊接接头尺寸				螺栓、铆钉连接规线						最小弯曲半径							
							孔并列			孔交错排列			朝小的翼缘方向				朝大的翼缘方向			
													热弯		冷弯		热弯		冷弯	
B	b	d	Ⅰ a	Ⅱ a'	e	c	a_1	a_2	D	a_1	a_2	D	R_1	R_2	R_1	R_2	R_3	R_4	R_3	R_4
25	16	3	13	22	4	3							80	75	290	285	110	100	400	395
		4	12	21	5								75	70	280	280	105	100	390	385
32	20	3	17	29	4	4							100	90	370	360	140	130	520	510
		4	16	28	5								100	90	360	360	140	130	510	500
40	25	3	22	37	4	5							130	115	470	470	180	180	655	655
		4	21	36	5								125	115	460	468	175	160	645	630
45	28	3	25	42	4								150	135	535	535	200	185	745	730
		4	24	41	5								145	130	520	525	200	185	735	720
50	32	3	29	47	4			22					170	150	610	610	225	210	835	815
		4	28	46	5								165	150	600	600	220	190	820	790
56	36	3	33	53	4		18		6.6	18	20	6.6	190	170	690	690	255	235	935	915
		4	32	52	5			25					190	170	680	680	250	230	925	905
		5	31	51	6								185	165	670	670	250	230	915	895
63	40	4	36	59	5	7							210	190	760	760	285	260	1045	1020
		5	35	58	6								210	185	755	750	285	260	1035	1005
		6	34	57	7		20			20			205	185	745	745	280	255	1025	1005
		7	33	56	8								200	180	730	730	275	255	1015	995
70	45	4	41	66	5								240	215	860	860	320	295	1165	1140
		5	40	65	6								235	215	850	850	315	290	1160	1135
		6	39	64	7	8	25			25	28	9	235	210	840	840	310	290	1145	1125
		7	38	63	8								230	210	830	830	310	285	1140	1115
75	50	5	45	70	6			32	9				260	235	945	945	340	315	1255	1225
		6	44	69	7								260	235	935	935	335	310	1240	1215
		8	42	67	9								252	230	915	915	330	305	1220	1195
		10	40	65	11	9	28			30			245	225	895	890	325	300	1200	1175
80	50	5	45	75	6								265	235	955	955	360	330	1325	1295
		6	44	74	7								260	235	945	945	355	330	1310	1285
		7	43	73	8						35	11	260	235	935	935	355	325	1305	1275
		8	42	72	9								255	230	925	925	350	325	1295	1265

角钢尺寸			焊接接头尺寸				螺栓、铆钉连接规线						最小弯曲半径							
							孔并列 ° °			孔交错排列 ° ° °			朝小的翼缘方向				朝大的翼缘方向			
			I	II									热弯		冷弯		热弯		冷弯	
B	b	d	a	a'	e	c	a_1	a_2	D	a_1	a_2	D	R_1	R_2	R_1	R_2	R_3	R_4	R_3	R_4
90	56	5	51	85	6	10	30	40	11	30	40	13	300	265	1075	1075	405	375	1495	1460
		6	50	84	7								295	265	1065	1065	405	375	1485	1450
		7	49	83	8								290	260	1055	1055	400	370	1470	1440
		8	48	82	9								290	260	1045	1045	395	365	1460	1430
100	63	6	57	94	7	12	35			40			335	300	1205	1170	455	415	1660	1620
		7	56	93	8								330	295	1195	1160	450	415	1645	1615
		8	55	92	9								325	290	1185	1150	440	410	1635	1600
		10	53	90	11								320	290	1165	1130	440	405	1615	1585
100	80	6	74	94	7								410	370	1485	1490	475	435	1730	1690
		7	73	93	8								410	370	1480	1480	470	430	1720	1680
		8	72	92	9								405	365	1470	1460	470	430	1710	1670
		10	70	90	11								400	360	1445	1450	460	425	1690	1650
110	70	6	64	104	7			55	15		45	15	370	335	1340	1340	500	460	1835	1795
		7	63	103	8								370	330	1330	1335	495	460	1820	1780
		8	62	102	9								365	330	1325	1320	490	455	1810	1775
		10	60	100	11								360	325	1305	1305	485	450	1790	1750
125	80	7	73	118	8	14	45			55	35	23.5	425	380	1530	1530	570	525	2080	2035
		8	72	117	9								420	380	1520	1520	565	520	2070	2025
		10	70	115	11								415	375	1500	1500	555	515	2050	2010
		12	68	113	13								410	370	1480	1480	550	510	2030	1980
140	90	8	82	132	9			70	21	60	40		480	430	1720	1720	635	585	2330	2280
		10	80	130	11								470	420	1700	1700	630	580	2315	2265
		12	78	128	13								465	420	1680	1680	620	575	2290	2245
		14	76	126	15								460	415	1660	1660	615	570	2270	2225
160	100	10	90	150	11	16	55	75			70	26	530	475	1905	1910	720	660	2640	2580
		12	88	148	13								525	470	1900	1885	710	655	2600	2565
		14	86	146	15								515	465	1870	1870	705	655	2595	2545
		16	84	144	17								510	460	1845	1845	700	645	2575	2525
180	110	10	100	170	11			90	26	65	80		590	525	2115	2115	810	745	2980	2910
		12	98	168	13								580	520	2095	2095	800	740	2940	2880
		14	96	166	15								575	520	2075	2085	795	735	2930	2870
		16	94	164	17								510	510	2055	2055	790	730	2900	2840
200	125	12	113	188	13	18	70			80			665	595	3030	2390	900	830	3295	3225
		14	111	186	15								655	590	3025	2370	890	820	3275	3205
		16	109	184	17								650	590	3020	2350	890	815	3255	3190
		18	107	182	19								640	580	3015	2330	880	815	3240	3180

(十二)热轧圆钢和方钢(表 1－5－12)

表 1－5－12　热轧圆钢和方钢尺寸

(GB702—86)



d—圆钢直径；a—方钢边长

d，a (mm)	理论质量(kg/m)		d，a (mm)	理论质量(kg/m)	
	圆　钢	方　钢		圆　钢	方　钢
5.5	0.186	0.237	35①	7.55	9.62
6	0.222	0.283	36	7.99	10.2
6.5	0.260	0.332	38	8.90	11.3
7	0.302	0.385	40	9.86	12.6
8	0.395	0.502	42	10.9	13.8
9	0.499	0.636	45	12.5	15.9
10	0.617	0.785	48	14.2	18.1
11①	0.746	0.950	50	15.4	19.6
12	0.888	1.13	53	17.3	22.0
13	1.04	1.33	55①	18.6	23.7
14	1.21	1.54	56	19.3	24.6
15	1.39	1.77	58①	20.7	26.4
16	1.58	2.01	60	22.2	28.3
17	1.78	2.27	63	24.5	31.2
18	2.00	2.54	65①	26.0	33.2
19	2.23	2.83	68①	28.5	36.3
20	2.47	3.14	70	30.2	38.5
21	2.72	3.46	75	34.7	44.2
22	2.98	3.80	80	39.5	50.2
23①	3.26	4.15	85	44.5	56.7
24	3.55	4.52	90	49.9	63.6
25	3.85	4.91	95	55.6	70.8
26	4.17	5.31	100	61.7	78.5
27①	4.49	5.72	105	68.0	86.5
28	4.83	6.15	110	74.6	95.0
29①	5.18	6.60	115	81.5	104
30	5.55	7.06	120	88.8	113
31①	5.92	7.54	125	96.3	123
32	6.31	8.04	130	104	133
33①	6.71	8.55	140	121	154
34	7.13	9.07	150	139	177

d,a (mm)	理论质量(kg/m)		d,a (mm)	理论质量(kg/m)	
	圆　钢	方　钢		圆　钢	方　钢
160	158	201	200	247	314
170	178	227	220	298	
180	200	254	250	385	
190	223	283			

注：1. 表中的理论质量按密度为 7.85g/cm³ 计算。

2. 方钢边长为 5.5～200mm。

3. 普通钢钢材长度，当 d 或 a 小于 25mm，为 4～10m；d 或 a 大于 25mm，为 3～9m；优质钢材的全部规格，其长度为 2～6m；工具钢材 d 或 a 大于 75mm 时，长度为 1～6m。

4. 标记示例：

用 40Cr 钢轧成的直径为 50mm、允许偏差为 2 组的圆钢，其标记为：圆钢 $\frac{50-2-GB702-86}{40Cr-GB3077-88}$。

用 45 钢轧成的边长为 75mm、允许偏差为 3 组的方钢，其标记为：方钢 $\frac{75-3-GB702-86}{45-GB699-88}$。

①不推荐使用。

(十三)热轧扁钢(表 1－5－13)

二、常用钢板规格尺寸、重量及有关参数

(一)热轧钢板(表 1－5－14)

(二)花纹钢板(GB/T 3277—91)

花纹钢板其表面有突棱，有防滑作用，可用作地板、厂房扶梯、工作架踏板、船舶甲板、汽车底板等。花纹钢板的规格以基本厚度(突棱的厚度不计)表示，有 2.5～8.0mm10 种规格。

1. 花纹钢板的尺寸规定

基本厚度：2.5，3.0，3.5，4.0，4.5，5.0，5.5，6.0，7.0，8.0mm。

宽度：600～1800mm，按 50mm 进级。

长度：2000～12000mm，按 100mm 进级。

2. 花纹的尺寸、外形及其分布

菱形花纹钢板如图 1－5－1；扁豆形花纹钢板如图 1－5－2；圆豆形花纹钢板如图 1－5－3。

经供需双方协议，亦可供应其他形状的花纹钢板。

表 1-5-13　热轧扁钢的理论重量

(GB704—88)

宽度(mm)	厚度(mm)																							
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	16	18	20	22	25	28	30	32	36	40	45	50	56	60
	理论重量(kg/m)																								
10	0.24	0.31	0.39	0.47	0.55	0.63																			
12	0.28	0.38	0.47	0.57	0.66	0.75																			
14	0.33	0.44	0.55	0.66	0.77	0.88																			
16	0.38	0.50	0.63	0.75	0.88	1.00	1.15	1.26																	
18	0.42	0.57	0.71	0.85	0.99	1.13	1.27	1.41																	
20	0.47	0.63	0.78	0.94	1.10	1.26	1.41	1.57	1.73	1.88															
22	0.52	0.69	0.86	1.04	1.21	1.38	1.55	1.73	1.90	2.07															
25	0.59	0.78	0.98	1.18	1.37	1.57	1.77	1.96	2.16	2.36	2.75	3.14													
28	0.66	0.88	1.10	1.32	1.54	1.76	1.98	2.20	2.42	2.64	3.08	3.53													
30	0.71	0.94	1.18	1.41	1.65	1.88	2.12	2.36	2.69	2.83	3.30	3.77	4.24	4.71											
32	0.75	1.00	1.26	1.61	1.76	2.01	2.26	2.55	2.76	3.01	3.52	4.02	4.52	5.02											
35	0.82	1.10	1.37	1.65	1.92	2.20	2.47	2.75	3.02	3.30	3.85	4.40	4.95	5.50	6.04	6.87	7.69								
40	0.94	1.26	1.57	1.88	2.20	2.51	2.83	3.14	3.45	3.77	4.40	5.02	5.65	6.28	6.91	7.85	8.79								
45	1.06	1.41	1.77	2.12	2.47	2.83	3.18	3.53	3.89	4.24	4.95	5.65	6.36	7.07	7.77	8.83	9.89	10.60	11.30	12.72					
50	1.18	1.57	1.96	2.36	2.75	3.14	3.53	3.93	4.32	4.71	5.50	6.28	7.06	7.85	8.64	9.81	10.99	11.78	12.56	14.13					
55		1.73	2.16	2.59	3.02	3.45	3.89	4.32	4.75	5.18	6.04	6.91	7.77	8.64	9.50	10.79	12.09	12.95	13.82	15.54					
60		1.88	2.36	2.83	3.30	3.77	4.24	4.71	5.18	5.65	6.59	7.54	8.48	9.42	10.36	11.78	13.19	14.13	15.07	16.96	18.84	21.20			
65		2.04	2.55	3.06	3.57	4.08	4.59	5.10	5.61	6.12	7.14	8.16	9.18	10.20	11.23	12.76	14.29	15.31	16.33	18.37	20.41	22.96			
70		2.20	2.75	3.30	3.85	4.40	4.95	5.50	6.04	6.59	7.69	8.79	9.89	10.99	12.09	13.74	15.30	16.49	17.58	19.78	21.98	24.73			
75		2.36	2.94	3.53	4.12	4.71	5.30	5.89	6.48	7.07	8.24	9.42	10.60	11.78	12.95	14.72	16.48	17.66	18.84	21.20	23.55	26.49			
80		2.51	3.14	3.77	4.40	5.02	5.65	6.28	6.91	7.54	8.79	10.05	11.30	12.56	13.82	15.70	17.58	18.84	20.10	22.61	25.12	28.26	31.40	35.17	
85			3.34	4.00	4.67	5.34	6.01	6.67	7.34	8.01	9.34	10.68	12.01	13.34	14.68	16.68	18.68	20.02	21.35	24.02	26.69	30.03	33.36	37.37	40.04
90			3.53	4.24	4.95	5.65	6.36	7.07	7.77	8.48	9.89	11.30	12.72	14.13	15.54	17.66	19.73	21.20	22.61	25.43	28.26	31.79	35.32	39.56	42.39
95			3.73	4.47	5.22	5.97	6.71	7.46	8.20	8.95	10.44	11.93	13.42	14.92	16.41	18.64	20.88	22.37	23.86	26.85	29.83	33.56	37.29	41.76	44.74
100			3.92	4.71	5.50	6.28	7.06	7.85	8.64	9.42	10.99	12.56	14.13	15.70	17.27	19.62	21.90	23.55	25.12	28.26	31.40	35.32	39.25	43.96	47.10
105			4.12	4.95	5.77	6.59	7.42	8.24	9.07	9.39	11.54	13.19	14.84	16.48	18.13	20.61	23.08	24.73	26.38	29.67	32.97	37.09	41.21	46.16	49.46
110			4.32	5.18	6.04	6.91	7.77	8.64	9.50	10.36	12.09	13.82	15.54	17.27	19.00	21.59	24.18	25.90	27.63	31.09	34.54	38.86	43.18	48.36	51.81
120			4.71	5.65	6.59	7.54	8.48	9.42	10.36	11.30	13.19	15.07	16.96	18.84	20.72	23.55	26.38	28.26	30.14	33.91	37.68	42.39	47.10	52.75	56.52
125				5.89	6.87	7.85	8.83	9.81	10.79	11.78	13.74	15.70	17.66	19.62	21.58	24.53	27.48	29.44	31.40	35.32	39.25	14.16	49.06	54.95	58.88
130				6.12	7.14	8.16	9.18	10.20	11.23	12.25	14.29	16.33	18.37	20.41	22.45	25.51	28.57	30.62	32.66	36.74	40.82	15.92	51.02	57.15	61.23
140					7.69	8.79	9.89	10.99	12.09	13.19	15.39	17.58	19.78	21.98	24.18	27.48	30.77	32.97	35.17	39.56	43.96	49.46	54.95	61.54	65.94
150					8.42	9.42	10.60	11.78	12.95	14.13	16.48	18.84	21.20	23.55	25.90	29.44	32.97	35.32	37.68	42.39	47.10	12.99	58.88	65.94	70.65

表 1-5-14 热轧钢板规格尺寸

(GB709—88)

公称厚度(mm)	宽度(m)																																		
	0.6	0.65	0.7	0.71	0.75	0.8	0.85	0.9	0.95	1.0	1.1	1.25	1.4	1.42	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3.0	3.2	3.4	3.6	3.8
	最小长度和最大长度(m)																																		
0.50～0.60	1.2	1.4	1.42	1.42	1.5	1.5	1.7	1.8	1.9	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0.65～0.75	2	2	1.42	1.42	1.5	1.5	1.7	1.8	1.9	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0.80、0.90	2	2	1.42	1.42	1.5	1.5	1.7	1.8	1.9	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1.0	2	2	1.42	1.42	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1.2～1.4	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2.5 3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1.5～1.8	2	2	2	2 6	2 6	2 6	2 6	2 6	2 6	2 6	2 6	2 6	2 6	2 6	2 6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2.0、2.2	2	2	2 6	2 6	2 6	2 6	2 6	2 6	2 6	2 6	2 6	2 6	2 6	2 6	2 6	2 6	2 6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2.5、2.8	2	2	2 6	2 6	2 6	2 6	2 6	2 6	2 6	2 6	2 6	2 6	2 6	2 6	2 6	2 6	2 6	2 6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3.0～3.9	2	2	2 6	2 6	2 6	2 6	2 6	2 6	2 6	2 6	2 6	2 6	2 6	2 6	2 6	2 6	2 6	2 6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4.0～5	—	—	2 6	2 6	2 6	2 6	2 6	2 6	2 6	2 6	2 6	2 6	2 6	2 6	2 6	2 6	2 6	2 6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6、7	—	—	2 6	2 6	2 6	2 6	2 6	2 6	2 6	2 6	2 6	2 6	2 6	2 6	2 6	2 6	2 6	2 6	2 6	2 6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8～10	—	—	2 6	2 6	2 6	2 6	2 6	2 6	2 6	2 6	2 6	2 6	2 6	2 6	2 12	3 12	3 12	3 12	3 12	3 12	3 12	3 12	3 12	4 12	4 12	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
11、12	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2 6	2 6	2 6	2 6	2 6	2 12	3 12	3 12	3 12	3 12	3 10	3 10	3 10	3 9	4 9	4 9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
13～25	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2.5 6.5	2.5 6.5	2.5 12	2.5 12	2.5 12	3 12	3 11	3.5 11	4 10	4 10	4 10	4.5 10	4.5 9	4.5 9	4 9	4 9	3.5 9	3.5 8.2	3.5 8.2	—	—	—	—	—	—	—
26～40	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2.5 12	2.5 12	2.5 12	3 12	3 12	3.5 12	3.5 12	4 12	4 12	4 12	4.5 12	4.5 12	4 11	4 11	3.5 10	3.5 10	3.5 10	3.5 10	3 9.5	3.2 9.5	3.4 9.5	3.6 9.5	—
42～200	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2.5 9	2.5 9	3 9	3 9	3 9	3.5 9	3.5 9	3.5 9	3.5 9	3.5 9	3.5 9	3.5 9	3.5 9	3.5 9	3 9	3 9	3 9	3 9	3 9	3.2 9	3.4 8.5	3.6 8	3.6 7

厚度尺寸系列(mm)	0.50、0.55、0.60、0.65、0.70、0.75、0.80、0.90、1.0、1.2、1.3、1.4、1.5、1.6、1.8、2.0、2.2、2.5、2.8、3.0、3.2、3.5、3.8、3.9、4.0、4.5、5、6、7、8、9、10、11、12、13、14、15、16、17、18、19、20、21、22、25、26、28、30、32、34、36、38、40、42、45、48、50、52、55、60、65、70、75、80、85、90、95、100、105、110、120、125、130、140、150、160、165、170、180、185、190、195、200

注：理论质量计算时，碳钢的密度为 7.85g/cm³，其他钢种按相应标准规定。

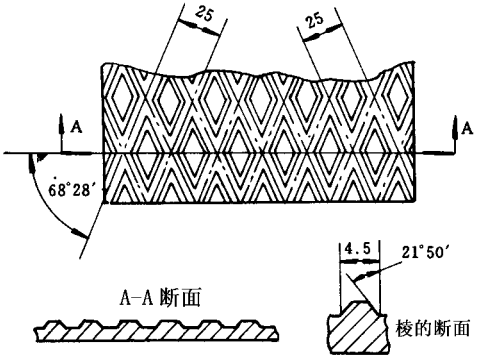


图 1－5－1

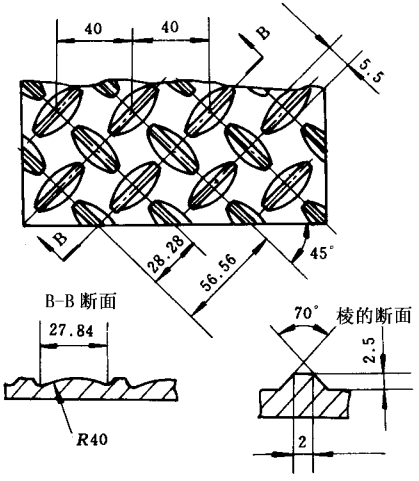


图 1－5－2

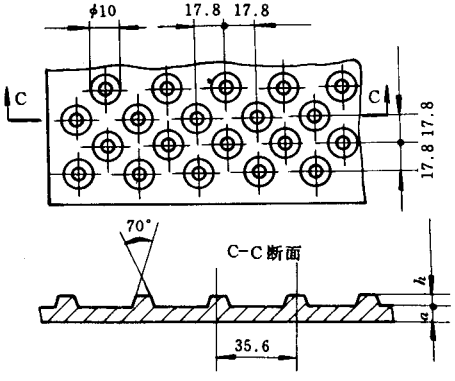


图 1－5－3

3. 花纹钢板的基本厚度及理论质量(表 1－5－15)

表 1－5－15　花纹钢板的基本厚度及理论质量

基本厚度	理论质量 (kg/m²)		
	菱形	扁豆	圆豆
2.5	21.6	21.3	21.1
3.0	25.6	24.4	24.3
3.5	29.5	28.4	28.3
4.0	33.4	32.4	32.3
4.5	37.3	36.4	36.2
5.0	42.3	40.5	40.2
5.5	46.2	44.3	44.1
6.0	50.1	48.4	48.1
7.0	59.0	52.6	52.4
8.0	66.8	56.4	56.2

4. 标记示例

用 Q235—A 钢制成的,尺寸为 4mm × 1000mm × 4000mm,圆豆形花纹钢板,其标记为 圆豆形花纹钢板 Q235—A—4 × 1000 × 4000—GB/T3277—91。

(三)镀锌板、镀锡板、镀铅板(表 1－5－16)

表 1－5－16　镀锌板、镀锡板、镀铅板

(GB5066—85、GB2520—88、GB5065—85)

单张热镀锌薄钢板 GB5066—85	厚度	0.35 0.40 0.45 0.50 0.55 0.60 0.65 0.70 0.75 0.80 0.90 1.0 1.1 1.2 1.3 1.4 1.5											
	宽度×长度	710×1420 750×750 750×1500 750×1800 800×800 800×1200 800×1600 850×1700 900×900 900×1800 900×2000 1000×2000											
电镀锡薄钢板 GB2520—88	厚度	0.15 0.18						0.20 0.21 0.22 0.23 0.24 0.25 0.26 0.28 0.30 0.32 0.34 0.36 0.38 0.40 0.45 0.5					
	宽度	520～900						520～1050					
	长度	400～1200											
热镀铝合金冷轧碳素薄钢板 GB5065—85	厚度	0.5	0.9	0.9	1.0	1.0	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.5	2.0
	宽度	900	800	1000	1000	1000	850	880	950	1000	1010	1000	1000
	长度	1800	1550	2000	1640	2000	1700	1635	1840	2000	1600	2000	2000

注:1. 热镀锌板其钢号根据用途在 Q195、Q215 和 Q235 中选择,其化学成分应符合 GB700。

2. 镀锡原板应采用冷轧低碳薄钢板。电镀锡薄板用于冲制仪表机壳、玩具、罐头盒、热水瓶外壳等。

3. 热镀铝板用于制造油箱、贮油容器及其他防腐蚀零件,采用冷轧碳素薄钢板,其牌号为 08A1A 及 08A1,化学成分应分别符合 GB5213 和 GB710 的规定。

（四）钢板每平方米面积理论质量（表 1－5－17）

表 1－5－17　钢板每平方米面积理论重量

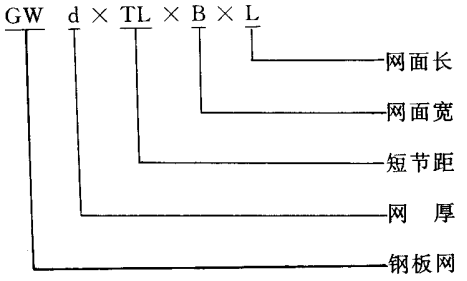
厚　度（mm）	理论质量（kg）	厚　度（mm）	理论质量（kg）	厚　度（mm）	理论质量（kg）	厚　度（mm）	理论质量（kg）
0.2	1.570	1.50	11.78	10.0	78.50	29	227.70
0.25	1.963	1.6	12.56	11	86.35	30	235.50
0.27	2.120	1.8	14.13	12	94.20	32	251.20
0.30	2.355	2.0	15.70	13	102.10	34	266.90
0.35	2.748	2.2	17.27	14	109.90	36	282.60
0.40	3.140	2.5	19.63	15	117.80	38	298.30
0.45	3.533	2.8	21.98	16	125.60	40	314.00
0.50	3.925	3.0	23.55	17	133.50	42	329.70
0.55	4.318	3.2	25.12	18	141.30	44	345.40
0.60	4.710	3.5	27.48	19	149.20	46	361.10
0.70	5.495	3.8	29.83	20	157.00	48	376.80
0.75	5.888	4.0	31.40	21	164.90	50	392.50
0.80	6.280	4.5	35.33	22	172.70	52	408.20
0.90	7.065	5.0	39.25	23	180.60	54	423.00
1.00	7.850	5.5	43.18	24	188.40	56	430.60
1.10	8.635	6.0	47.10	25	196.30	58	455.30
1.20	9.420	7.0	54.95	26	204.10	60	471.00
1.25	9.813	8.0	62.80	27	212.00		
1.40	10.990	9.0	70.05	28	219.80		

（五）钢板网（GB11953—89）

钢板网适用于建筑、防护、通风、隔离等工程。

1. **产品标记**

（1）标记



(2)标记示例

板厚为 1.2mm,短节距为 12mm,网面宽度为 2000mm,网面长度为 4000mm 的钢板网。

GW 1.2 × 12 × 2000 × 4000

2. 规格

规格尺寸见表 1 – 5 – 18、图 1 – 5 – 4。

表 1 – 5 – 18　钢板网的规格尺寸

d	网格尺寸			网面尺寸		钢板网质量(理论) (kg/m²)
	TL	*TB*	*b*	*B*	*L*	
(mm)						
0.5	5	12.5	1.11	2000	1000	1.74
	10	25	0.96		600	0.75
					1000	
			0.62			
	14	25	0.70		600	0.35
					1000	0.39
	5	12.5	1.10	1000 或 2000	2000	1.73
	8	20			3000	1.08
	10	25	1.12	2000	4000	0.88
	12	30	1.35			
	10	25	0.96		600	1.20
0.8			1.14		1000	1.43
			1.12			
	12	30	1.35		4000	1.41
	15	40	1.68			

d	网格尺寸			网面尺寸		钢板网质量（理论）（kg/m^2）
	TL	TB	b	B	L	
	（mm）					
1.0	10	25	1.10	2000	600	1.73
			1.15		1000	1.81
			1.12		4000	1.76
	12	30	1.35			1.77
	15	40	1.68			1.76
1.2	10	25	1.13		4000	2.13
	12	30	1.35			2.12
	15	40	1.68			2.11
	18	50	2.03			2.12
1.5	15	40	1.69		4000 或 5000	2.65
	18	50	2.03			2.66
	22	60	2.47			2.64
	29	80	3.25			
2.0	18	50	2.03			3.54
	22	60	2.47			3.53
	29	80	3.26			
	36	100	4.05			
	44	120	4.95			
2.5	29	80	3.26			4.41
	36	100	4.05			4.42
	44	120	4.95			
3.0	36	100	4.05			5.30
	44	120	4.95			
	55	150	4.99		5000	4.27
	65	180	4.60		6400	3.33

d	网格尺寸			网面尺寸		钢板网质量（理论）（kg/m^2）
	TL	TB	b	B	L	
	（mm）					
4.0	22	60	4.5	1500 或 2000	2200	12.85
	30	80	5.0		2700	10.47
	38	100	6.0		2800	9.92
4.5	22	60	5.0		2000	16.05
	30	80	6.0		2200	14.13
	38	100			2800	11.16
5.0	24	60			1800	19.63
	32	80			2400	14.72
	38	100	7.0		2400	14.46
	56	150	6.0		4200	8.41
	76	200			5700	6.20
6.0	32	80	7.0		2000	20.60
	38	100			2400	17.35
	56	150			3600	11.78
	76	200	8.0		4200	9.92
7.0	40	100			2200	21.98
	60	150			3400	14.65
	80	200	9.0		4000	12.36
8.0	40	100	8.0		2200	25.12
			9.0		2000	28.26
	60	150			3000	18.84
	80	200	10.0		3600	15.70

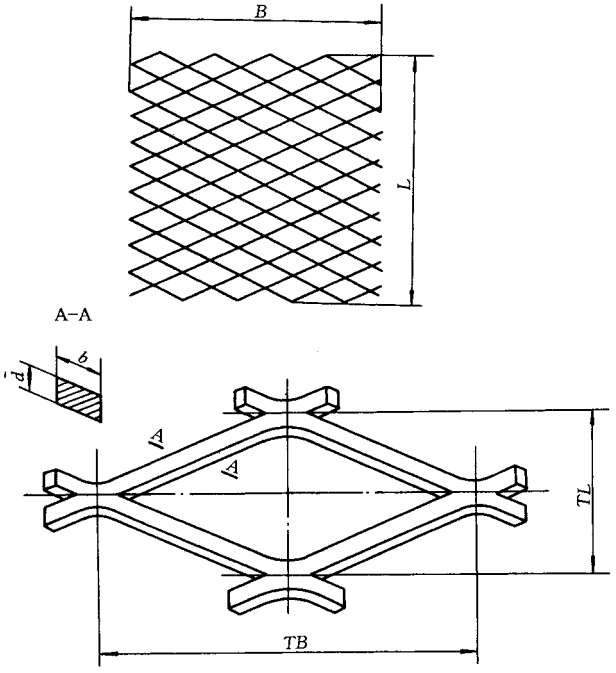
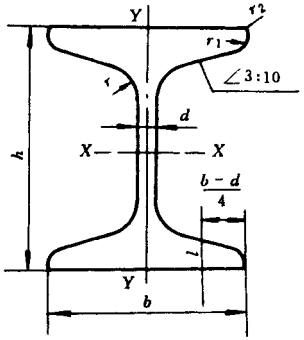


图 1－5－4

三、矿用钢

(一)热轧矿用工字钢 YB2006—78(表 1－5－19)

表 1－5－19　矿用工字钢的截面面积、理论重量及参考数值



矿用工字钢断面

h—高度；
b—腿宽；
d——腰厚；
l——平均腿厚；
r——内圆弧半径；
r_1、r_2—腿端圆弧半径；
I——惯性矩；
W—截面系数；
i——惯性半径；
S——半截面的静力矩

型号	h	b	d	l	r	r_1	r_2	截面面积（cm^2）	理论质量（kg/m）	参考数值						
										$X-X$				$Y-Y$		
	（mm）									I_X（cm^4）	W_X（cm^3）	i_X（cm）	X_X（cm^3）	I_X（cm^4）	W_Y（cm^3）	i_Y（cm）
9	90±2.0	76±2.5	8±0.8	10.9	12	4	1.5	22.54	17.69	281.0	62.5	3.53	37.8	62.5	16.5	1.67
11	110±2.0	90±2.5	9±0.8	14.1	12	5	1.5	33.18	26.05	623.7	113.4	4.34	68.5	127.7	28.4	1.96
12	120±2.0	95±2.5	11±0.8	15.3	15	5	1.5	31.72	31.18	867.1	144.5	4.67	87.9	178.2	37.5	2.12

注：1. 均胶腿厚的允许偏差为 ±0.06t。

2. 腿的外缘斜度（单腿和双腿）不得不大于 2.5%。

3. 矿用工字钢长度为 6～10m。

（二）矿山巷道支护用热轧 U 型钢（GB4697—91）

1. 型钢的截面尺寸（图 1－5－5～图 1－5－7 和表 1－5－20）

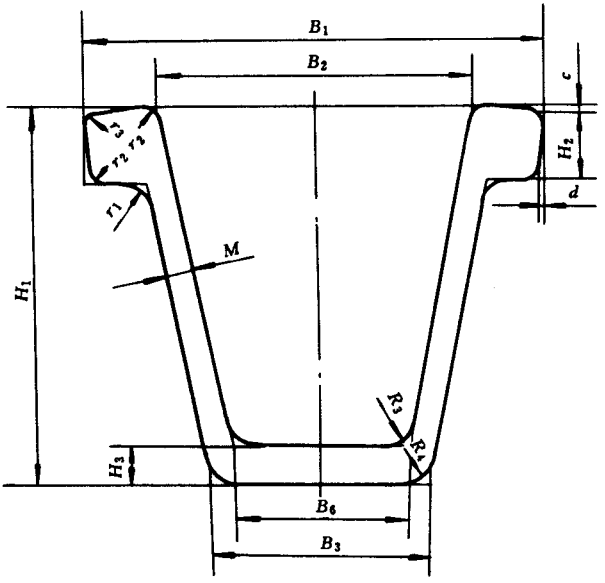


图 1－5－5　18U 截面图

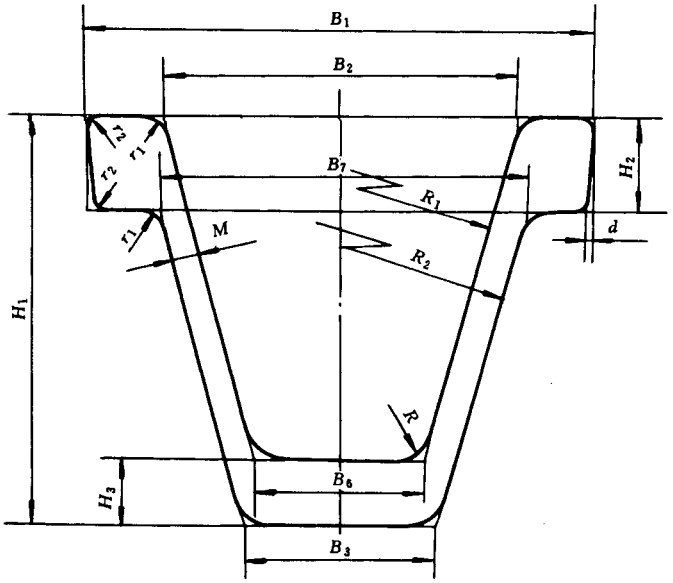


图 1－5－6　25U 截面图

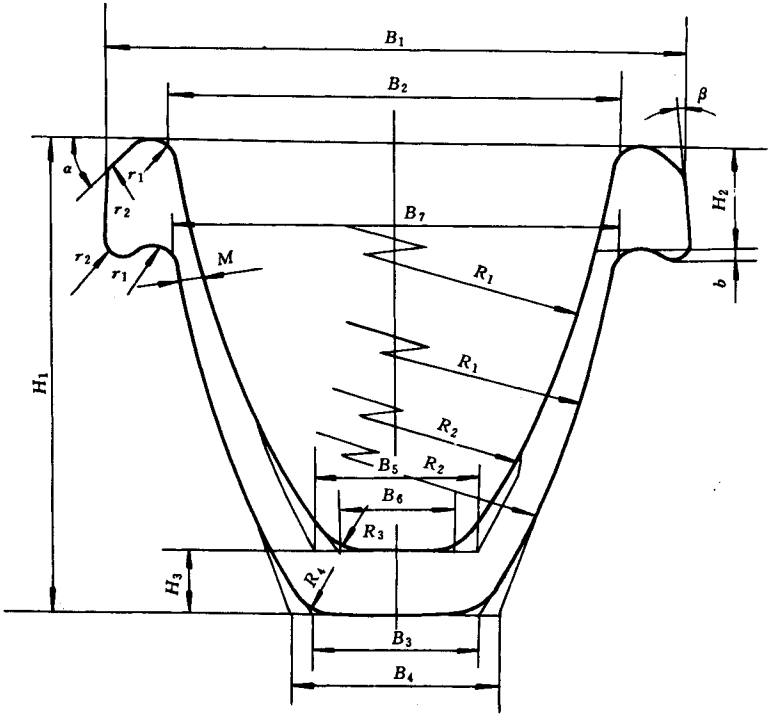


图 1－5－7　29U 截面图

表 1－5－20　型钢的截面尺寸

型号	H_1	H_2	H_3	B_1	B_2	B_3	B_4	B_5	B_6	B_7	M	b
18U	99	18	10	122	84	57	—	—	46.2	—	7.5	—
25U	110	26	17	134	92	50.8	—	—	45	94.1	6.6	—
29U	124	28.5	16	150.5	116	44	53	42	30	116.6	7.2	3
型号	c	d	R_1	R_2	R_3	R_4	r_1	r_2	r_3	α	β	
18U	2	2	—	—	9	9	8	4	2	—	—	
25U	0	2.5	400	400	12	10	7	2	—	—	—	
29U	—	—	450	185	15	16	7	4	—	40°	3°	

注：36U 参数见 GB4697—84。

2. 型钢的截面面积、理论重量及截面参数(表 1－5－21)

表 1－5－21　型钢的截面面积、理论重量及截面参数

型　号	截面面积 (cm^2)	理论质量 (kg/m)	截面参数						
			$X-X$				$Y-Y$		
			I_x (cm^4)	W_x (cm^3)	i_X (cm)	S_x (cm)	I_y (cm^4)	W_y (cm^3)	i_y (cm)
18U	24.15	18.96	284.26	56.29 57.43	3.43	75.40	331.35	54.32	3.70
25U	31.54	24.76	451.70	81.68 82.58	3.78	110.90	508.70	75.92	4.02
29U	37.00	29.00	612.00	106.00 92.00	4.07	212.91	771.00	102.00	4.57

3. 长度

型钢的通常长度为 5～12m。

(三)新型矿用工字钢

为了降低支护钢材消耗量，降低支护成本，煤炭科学研究总院北京开采所设计出新型矿用工字钢，并于 1994 年试轧成功。新型矿用工字钢截面见图 1－5－8，新、旧系列矿用工字钢的主要技术经济指标见表 1－5－22。

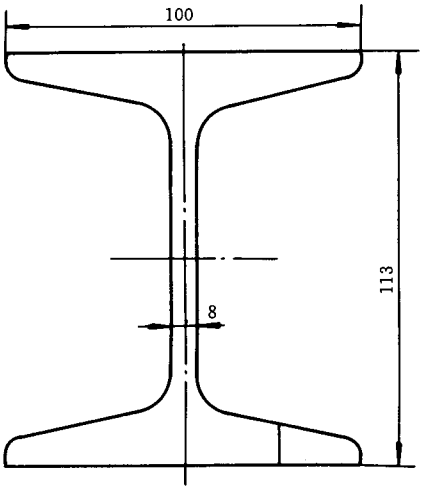


图 1－5－8　新型矿用工字钢(24H)截面

表 1－5－22　新、旧系列矿用工字钢的主要技术经济指标

系　列	型　号	截面面积 (cm^2)	理论质量 (kg/m)	抗弯截面模量(cm^3)		材料利用率 (cm^3/kg/m)
				W_X	W_Y	
新系列	16H	20.03	15.7	63.2	17.1	5.11
	24H	21.60	24.0	113.7	31.5	6.05
	28H	36.68	28.8	145.4	38.5	6.39
旧系列	9#	22.50	17.7	62.5	16.5	4.46
	11#	23.20	26.1	113.4	28.4	5.43
	12#	39.70	31.2	144.5	37.5	5.83

(四)立井罐道用冷弯方管和罐道梁用冷弯矩管

立井罐道用冷弯方管和罐道梁用冷弯矩管是经济截面高效型钢材料,其优点为:解决了型钢组合罐道的大量焊接加工与加工后质量难以控制的问题,从而保证了罐道的高质量;冷弯方管罐道比同等长度同等抗弯抗变形能力的槽钢组合罐道减轻四分之一的重量;其截面为封闭形,亦可将两端头封闭,因此抗腐蚀寿命可延长一倍。冷弯方管和冷弯矩管将成为型钢组合罐道(梁)的更新换代型。目前,中煤建设集团总公司开发生产的冷弯方形罐道 DF 系列有 DF16、DF18、DF18b、DF20、DF20b、DF22c。

冷弯方管型号、规格及参考数值,冷弯方管罐道选型及其名义长度,冷弯方(矩)管与组合型钢对照及外形尺寸见表 1－5－23～表 1－5－25 及图 1－5－9。

表 1－5－23　冷弯方管型号、规格及参考数值

（MT/T557—1996）

型号	尺寸（mm）			截面面积（cm^2）	理论质量（kg/m）	惯性矩（cm^4）	回转半径（cm）	截面模量（cm^3）	扭转参数	
	边长 A	允许偏差	壁厚 t			$I_X = I_Y$	$i_X = i_Y$	$H_X = H_Y$	I_t（cm^4）	W_t（cm^3）
16a	160	±1.2	6	36.0	28.3	1405	6.25	176	2235	284
16			8	46.4	36.5	1741	6.23	218	2887	366
18	180	±1.3	8	52.8	41.5	2546	6.94	283	4177	470
18b			10	63.7	50.0	2945	6.79	327	5051	567
20	200		8	59.2	46.5	3567	7.75	357	5803	586
20b			10	71.7	56.3	4162	7.61	416	7055	711
22b	220	±1.4	10	79.7	62.6	5675	8.43	516	9524	871
22c			12.5	97.0	76.2	6674	8.29	607	11480	1055

表 1－5－24　冷弯方管罐道选型及其名义长度

罐道所受水平力 正向/侧向（kN）	罐道梁层间距/每节罐道名义长度（m）							备　注
	DF16	DF18	DF18b	DF20	DF20b	DF22b	DF22c	
$\frac{18.3}{14.7}$	5/10	6/12						
$\frac{25.0}{20.0}$	4/12	5/10	6/12					相当三层四车 1.5t 宽罐笼
$\frac{30.8}{24.7}$	4/12	5/10	5/10	6/12				相当 16t 箕斗
$\frac{38.3}{30.7}$	—	4/12	5/10	5/10	5/10			相当 20t 箕斗
$\frac{48.3}{38.7}$	—	—	4/12	4/12	5/10	6/12		相当 25t 箕斗
$\frac{56.7}{45.3}$	—	—	—	4/12	4/12	5/10	6/12	相当 30t 箕斗
$\frac{62.5}{50.0}$	—	—	—	—	4/12	5/10	5/10	相当 32t 箕斗
$\frac{80.0}{64.0}$	—	—	—	—	—	4/12	4/12	担当 40t 箕斗

注：1. 当前推荐的冷弯方管罐道型号为 DF20（含 DF20b）和 DF18（含 DF18b）两种。

2. DF16（含 16a）型罐道主要适用于旧井更换罐道，一般不适用于新井。

表 1-5-25　冷弯方（矩）管与组合型钢对照表

项目	型　号	罐道用冷弯方管、罐道梁用冷弯矩管截面技术特征表							常用（拟被替代）罐道、罐道梁截面技术特征表					
		规格尺寸 $A\times B\times t-R$ (mm)	截面面积 (cm^2)	理论质量 (kg/m)	惯性矩 (cm^4)		截面模量 (cm^3)		规格尺寸 $A\times B\times t$ (mm)	理论重量 (kg/m)	惯性矩 (cm^4)		截面模量 (cm^3)	
					I_X	I_Y	W_X	W_Y			I_X	I_Y	W_X	W_Y
冷弯方管罐道	DF18	180×180×8−20	52.8	41.5	2546		283		180×170×8.5（2［16+150×10） 180×188×9.5（球扁钢组合罐道）	54.2 46.7	2705 2694	3092 3230	272 257	343 358
	$DF18_b$	180×180×10−30	63.7	50.0	2945		327							
	DF20	200×200×8−20	59.2	46.5	3567		357		180×190×9（2［18b+160×10）	61.7	3875	3566	351	396
	$DF20_b$	200×200×10−30	71.7	56.3	4162		416		200×210×9（2［20b+180×10）	69.2	3586	5028	439	503
	DF22	220×220×10−30	79.7	62.6	5675		516							
冷弯矩管罐道梁		200×120×8−20	46.4	36.5	2386	1079	239	180	160×130×8.5（2［16）	39.5	1869	1302	234	200
		200×120×10−30	55.7	43.7	2717	1230	272	205	180×140×9.0（2［18）	46.0	2740	1782	304	255
		220×140×10−30	63.7	50.0	3910	1945	355	278	200×150×9.0（2［20b）	51.5	3827	2310	383	308
		250×150×10−30*	71.7	56.3	5687	2584	455	345	220×158×9.0（2［22）	56.9	5143	2850	468	361

说明：1. 表中 A、B 为冷弯方矩管（拟被替代的型钢组合截面）的边长，t 为壁厚，R 为弯曲角外圆弧半径。

2. 冷弯方矩管一般采用 Q235−A・F−GB700−88 牌号钢制造，其 $\sigma_s=235N/mm^2$，$\sigma_b=375\sim460N/mm^2$，$\delta_5=26\%$。

3. * 规格为推荐型冷弯矩管。

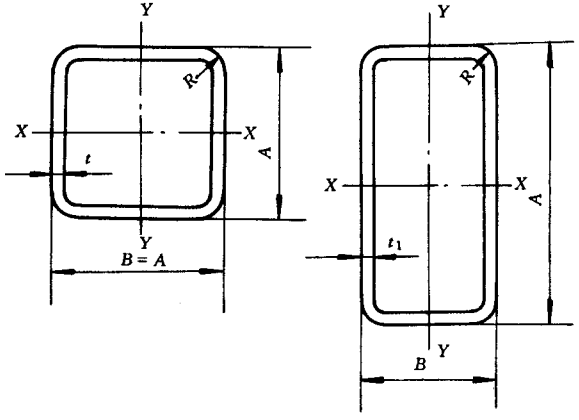


图 1－5－9

(五)W 型钢带及钢护板

W 型钢带及钢护板是一种新型矿山支护材料,它可与各种锚杆共同组成组合锚杆支架,用于煤矿井下巷道及工作面开切眼支护,亦可用于巷道交岔点及硐室的支护。

该型钢是利用材质为 Q235－16Mn 的带钢经多组轧辊连续进行冷弯成型的型钢产品。由于冷弯成型过程中的硬化效应可使型钢强度提高 10%～15%,冷弯成型成才率高(98%),与冲压及热轧型钢相比,可节约钢材 10%～30%。其技术特征见图 1－5－10、表 1－5－26 及图 1－5－11、表 1－5－27。

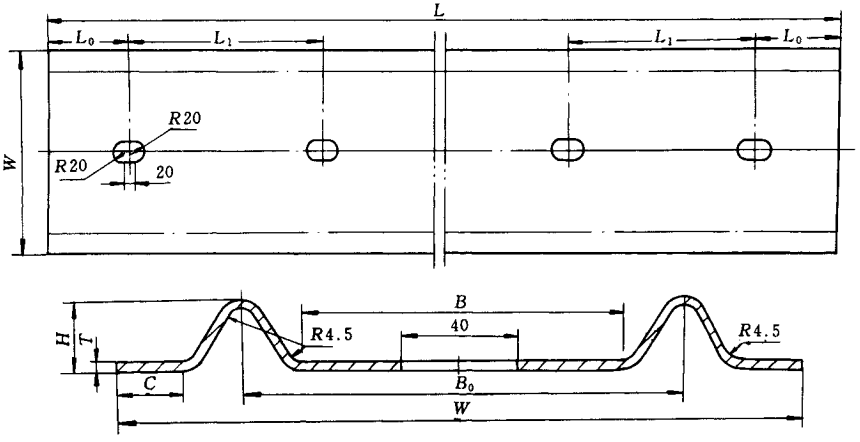


图 1－5－10　矿用 W 型钢带

表 1－5－26　W 型钢带技术特征

型　　号	展宽 W_0 (mm)	宽 W (mm)	平宽 B (mm)	厚 T (mm)	高 H (mm)	孔径 R (mm)	边孔距 L_0 (mm)	截面积 S (mm^2)	拉断力 F (kN)	惯性矩 J (mm^4)	重量 G (kg/m)	生产厂
BHW－280－3.00	310	280	155.6	3.00	24.64	20	150	810	353.97	40644	7.25	煤科总院北京开采所新汶矿务局机械总厂
BHW－280－2.75	310	280	155.6	2.75	24.64	20	150	742	324.47	37947	6.65	
BHW－280－2.50	310	280	155.6	2.50	24.64	20	150	675	294.98	35146	6.05	
BHW－250－3.00	280	250	135.7	3.00	24.64	20	150	720	314.64	38911	6.55	
BHW－250－2.75	280	250	135.7	2.75	24.64	20	150	660	288.42	36338	6.01	
BHW－250－2.50	280	250	135.7	2.50	24.64	20	150	600	262.20	33663	5.56	
BHW－220－3.00	252	220	115.7	3.00	24.64	20	150	636	277.93	36928	5.90	
BHW－220－2.75	252	220	115.7	2.75	24.64	20	150	593	254.77	34498	5.41	
BHW－220－2.50	252	220	115.7	2.50	24.64	20	150	530	231.61	31969	4.91	

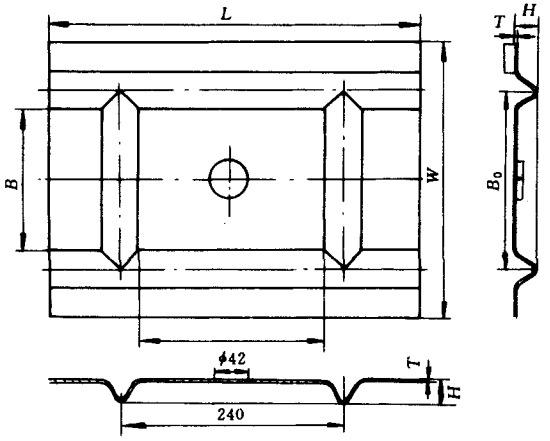


图 1－5－11　W 型锚杆钢护板

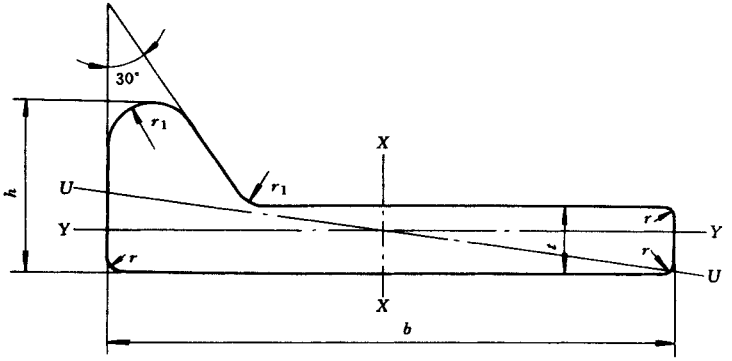
表 1－5－27　W 型锚杆钢护板

型　　号	展宽 W_0 (mm)	宽 W (mm)	平宽 B (mm)	厚 T (mm)	高 H (mm)	孔径 ϕ (mm)	截面积 S (mm^2)	长度 L (mm)	支护面积 A (mm^2)	重量 G (kg/m)
BHW—280—3.00	310	280	150	2.75	24.64	42	742	400	0.112	7.25
BHW—280—2.75	310	280	150	3.00	24.64	42	810	400	0.112	6.65

(六)球扁钢

球扁钢用于组合罐道,目前尚无专用标准,一般系按造船用球扁钢品种选用。常用规格、重量及参考数值见表 1－5－28。

表 1－5－28　球扁钢截面尺寸、截面面积、理论质量及截面特性参数



常用球扁钢的型号、尺寸及参考数值(GB9945—88)

h—高度;b—宽度;t—腹板厚度;r_1—球端圆角半径、球斜面与腹板间的圆角半径;

r—球顶面与腹板间的圆角半径;I—惯性矩;i—惯性半径;

X_0—重心距离;Y_0—重心距离

型号	尺寸(mm)					截面面积(cm^2)	理论质量(kg/m)	$X-X$		$Y-Y$		$U-U$			重心距离	
	b	h	t	r_1	r			I_X(cm^4)	i_x(cm)	I_Y(cm^4)	i_y(cm)	I_U(cm^4)	i_u(cm)	轴的斜角 tgα	X_0(cm)	Y_0(cm)
14a	140	33	7	6	≤2.0	14.14	11.10	274	4.42	9.12	0.81	6.00	0.65	0.10	0.79	8.82
14b	140	35	9	6		16.94	13.30	321	4.37	11.12	0.81	8.00	0.69	0.10	0.84	8.55
16a	160	36	8	7		18.05	14.17	468	5.10	13.67	0.87	10.00	0.74	0.09	0.86	9.95
16b	160	38	10	7		21.25	16.68	527	5.00	16.36	0.88	13.00	0.78	0.09	0.91	9.75
18a	180	40	9	7		22.29	17.50	724	5.84	19.45	0.94	15.00	0.82	0.09	0.93	11.15
18b	180	42	11	7		25.89	20.32	837	5.70	23.02	0.94	17.00	0.81	0.09	0.98	10.81
20a	200	44	10	8	≤3.0	27.49	21.58	1078	6.37	29.60	1.04	21.00	0.88	0.09	1.02	12.40
20b	200	46	12	8		31.49	24.72	1265	6.35	34.00	1.04	24.00	0.88	0.09	1.08	12.06
22a	220	48	11	8.5		32.96	25.87	1611	7.00	41.11	1.12	30.00	0.96	0.09	1.10	13.50
22b	220	50	13	8.5		37.36	29.33	1795	6.95	46.82	1.12	35.00	0.97	0.09	1.16	13.20

注:①表中理论重量按密度为 $7.85g/cm^3$ 计算。

②截面面积 $= bt + 0.2887(h-t)^2 + 1.5774(h-t)r_1 - 0.2146r_1^2$。

③r、r_1 尺寸在车削轧辊时检查。

四、钢丝绳及绳具

(一)几种常用钢丝绳规格、重量及抗拉强度

1.6×7 类钢丝绳(GB/T 8918—1996 表 1-5-29、图 1-5-12)

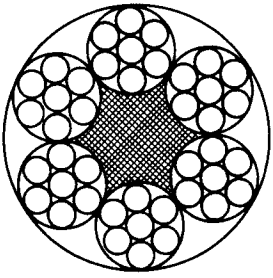
表 1-5-29

钢丝绳结构：6×7+FC　6×7+IWS　6×9W+FC　6×9W+IWR　力学性能

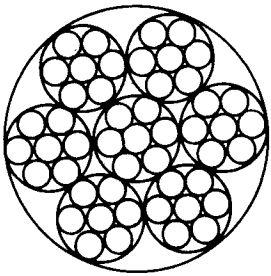
钢丝绳公称直径		钢丝绳近似重量(kg/100m)			钢丝绳公称抗拉强度(MPa)									
					1470		1570		1670		1770		1870	
					钢丝绳最小破断拉力(kN)									
d (mm)	允许偏差(%)	天然纤维芯钢丝绳	合成纤维芯钢丝绳	钢芯钢丝绳	纤维芯钢丝绳	钢芯钢丝绳	纤维芯钢丝绳	钢芯钢丝绳	纤维芯钢丝绳	钢芯钢丝绳	纤维芯钢丝绳	钢芯钢丝绳	纤维芯钢丝绳	钢芯钢丝绳
2	+8	1.40	1.38	1.55	1.95	2.11	2.08	2.25	2.21	2.39	2.35	2.54	2.48	2.68
3	0	3.16	3.10	3.48	4.39	4.74	4.69	5.07	4.98	5.39	5.28	5.71	5.58	6.04
4	+7	5.62	5.50	6.19	7.80	8.44	8.33	9.01	8.87	9.59	9.40	10.10	9.93	10.70
5	0	8.77	8.60	9.68	12.20	13.10	13.00	14.00	13.80	14.90	14.60	15.80	15.50	16.70
6		12.60	12.40	13.90	17.50	18.90	18.70	20.20	19.90	21.50	21.10	22.80	22.30	24.10
7		17.20	16.90	19.00	23.90	25.80	25.50	27.60	27.10	29.30	28.70	31.10	30.40	32.80
8		22.50	22.00	24.80	31.20	33.70	33.30	36.00	35.40	38.30	37.60	40.60	39.70	42.90
9		28.40	27.90	31.30	39.50	42.70	42.20	45.60	44.90	48.50	47.50	51.40	50.20	54.30
10		35.10	34.40	38.70	48.80	52.70	52.10	56.30	55.40	59.90	58.70	63.50	62.00	67.10
11		42.50	41.60	46.80	59.00	63.80	63.00	68.10	67.00	72.50	71.10	76.80	75.10	81.20
12		50.50	49.50	55.70	70.20	75.90	75.00	81.10	79.80	86.30	84.60	91.50	89.40	96.60
13		59.30	58.10	65.40	82.40	89.10	88.00	95.20	93.70	101.00	99.30	107.00	104.00	113.00
14	+6	68.80	67.40	75.90	95.60	103.00	102.00	110.00	108.00	117.00	115.00	124.00	121.00	131.00
16	0	89.90	88.10	99.10	124.00	135.00	133.00	144.00	141.00	153.00	150.00	162.00	158.00	171.00
18		114.00	111.00	125.00	158.00	170.00	168.00	182.00	179.00	194.00	190.00	205.00	201.00	217.00
20		140.00	138.00	155.00	195.00	211.00	208.00	225.00	221.00	239.00	235.00	254.00	248.00	268.00
22		170.00	166.00	187.00	236.00	255.00	252.00	272.00	268.00	290.00	284.00	307.00	300.00	324.00
24		202.00	198.00	223.00	281.00	303.00	300.00	324.00	319.00	345.00	338.00	366.00	357.00	386.00
26		237.00	233.00	262.00	329.00	356.00	352.00	381.00	374.00	405.00	397.00	429.00	419.00	453.00
28		275.00	270.00	303.00	382.00	413.00	408.00	441.00	434.00	470.00	460.00	498.00	486.00	526.00
(30)		316.00	310.00	348.00	439.00	474.00	469.00	507.00	498.00	539.00	528.00	571.00	558.00	604.00
32		359.00	352.00	396.00	499.00	540.00	533.00	577.00	567.00	613.00	601.00	650.00	635.00	687.00
(34)		406.00	398.00	447.00	564.00	610.00	602.00	651.00	640.00	693.00	679.00	734.00	717.00	776.00
36		455.00	446.00	502.00	632.00	683.00	675.00	730.00	718.00	776.00	761.00	823.00	804.00	870.00

注：1. 最小钢丝破断拉力总和 = 钢丝绳最小破断拉力 × 1.134(纤维芯)或 1.214(钢芯)。

2. 新设计设备不得选用括号内的钢丝绳直径。

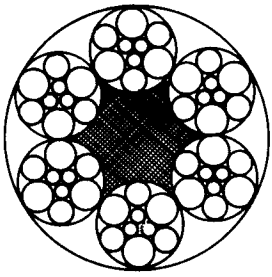


6×7+FC

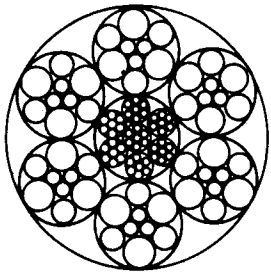


6×7+IWS

直径 2～36mm



6×9W+FC



6×9W+IWR

直径 14～36mm

图 1－5－12　6×7 **类钢丝绳**

2.17×7 **类钢丝绳**(GB/T8918—1996 **表** 1－5－30、**图** 1－5－13)

表 1－5－30

钢丝绳结构：

17×7+FC	17×7+IWS	18×7+FC	18×7+IWS
18×19W+FC	18×19W+IWS	18×19S+FC	18×19S+IWS
18×19+FC	18×19+IWS		

力学性能

钢丝绳公称直径		钢丝绳近似重量 (kg/100m)	钢丝绳公称抗拉强度 (MPa)				
			1470	1570	1670	1770	1870
d (mm)	允许偏差 (%)		钢丝绳最小破断拉力(kN)				
6		14.00	17.30	18.50	19.70	20.90	22.00
7		19.10	23.60	25.20	26.80	28.40	30.00
8		25.00	30.80	32.90	35.00	37.10	39.20
9		31.60	39.00	41.70	44.30	47.00	49.60
10		39.00	48.20	51.40	54.70	58.00	61.30
11		47.20	58.30	62.30	66.20	70.20	74.20
12		56.20	69.40	74.10	78.80	83.60	88.30