

我国的金钉子

『金钉子』：守望地质历史的全球标准

金钉子的典故出自美国铁路史。1869年5月10日，在现今犹他州的北部，联合太平洋铁路和中央太平洋铁路交汇，连接成第一条横跨美洲大陆的铁路。为了永久纪念这一成就，在两条铁路最后的接合处，钉上了一根特制的金钉子。被借用到地质学中的金钉子，正式名称叫“全球层型剖面 and 层型点位”。这个拗口的名字表示，有资格被称为金钉子的地方，是标志地质年代分界线的代表地点。这里的岩石和化石，记录了某个具有全球意义的重大地质事件。

建立“金钉子”的意义在于读懂地球演化的编年史。就像历史学家把中国历史划分为夏、商、周等不同的时期一样，地质学家按地球所有岩石形成时代的先后，建立一套年代地层单位系统，并依次称为太古宇、元古宇、古生代、中生代和新生代，每一个代的时间内，又进一步划分出次一级的年代地层单位，如系、统、阶。类似每一个人类历史时期都包含一定的人类活动内容和事件那样，每一个时间地层单位则包括在这个时间间隔内地球上所形成的所有岩石和与其相关的地质事件。建立“金钉子”，就是要为地球演化的编年史“断代”，确定各个地质时代的分界线。

只有具备全球范围内保存最连续，最完善的沉积岩石和生物化石记录的剖面，这个剖面又是穿越一个地质年代起始点的最佳地质记录，全球各地都以它为标准，才能作为全球界线层型剖面，俗称‘金钉子剖面’。

在全球地质年表近100个“金钉子”中，已确立55个。我国已经先后获得了寒武系、奥陶系、二叠系和石炭系中的9颗“金钉子”，分别是：

1. 1997年批准的浙江常山县黄泥塘奥陶系达瑞威尔阶

地层剖面：

(1) 在中国建立的第一个“金钉子”（GSSP）是中奥陶统的达瑞威尔阶的底界界线层型（陈旭等，

Ordovician	Upper	Hirnantian	443.7 ±1.5	
		Katian	445.6 ±1.5	
		Sandbian	455.8 ±1.6	
	Middle	Darriwilian	460.9 ±1.6	
		Dapingian	468.1 ±1.6	
	Lower	Floian	471.8 ±1.6	
		Tremadocian	478.6 ±1.7	
			488.3 ±1.7	

1998)。该项研究，始于上世纪90年代初。以中国科学院南京地质古生物研究所陈旭研究员为首的一批中外专家，历经近4年的精细深入研究，从所考察研究的6条界线剖面中，选定了该界线层型的所在位置及其定义。该界线层型剖面位于浙江省西部常山县以南的黄泥塘村；该

阶底界线点位在该剖面上的宁国组顶界之上22m处，该界线以笔石 *Undulograptus austroentatus* 种的首现为标志(其层位可与牙形石 *P. originatus* 带对比)。该界线层型的研究报告于1995年底正式发表，同时向国际奥陶纪分会提交了将该层型剖面作为全球GSSP的推荐书。1996年7月~11月，国际奥陶纪分会和国际地层委员会均分别以高票通过了该项推荐。1997年1月国际地质科学联合会一致通过批准了该建议。

国际地科联一致通过中国浙江常山黄泥塘剖面为全球界线层型剖面。我国地质学者和古生物学者通过近十几年的研究，以“三江山、玉山、常山地区”奥陶系为主攻目标，通过野外考察，共采集化石3000余件，各类岩石样品百余件，确认奥陶系年代地层单元的主要化石门类—笔石和牙形刺同时完好地发育和保存，为全球罕见。1993年，国际工作组联合考察，一致认为该剖面为达瑞威尔阶唯一的候选层型剖面1997年1月国际地科联一致通过，常山黄泥塘剖面为全球界线层型剖面点。

2. 2000年批准的浙江长兴县煤山二叠—三叠纪层型剖面；

中国获得批准的第2个“金钉子”是中国下三叠统底部殷坑阶(国际地层表中称印度阶)底界

M	Triassic	Upper	Rhaetian	199.6 ± 0.6	
			Norian	203.6 ± 1.5	
			Carnian	216.5 ± 2.0	
		Middle	Ladinian	~ 228.7	
			Anisian	237.0 ± 2.0	
		Lower	Olenekian	~ 245.9	
			Induan	~ 249.5	
			Changhsingian	251.0 ± 0.4	
		Lopingian	Wuchiapingian	253.8 ± 0.7	
				260.4 ± 0.7	

界线层型(殷鸿福等, 2001)。这颗“金钉子”意义重大,它既是全球殷坑(印度)阶底界的GSSP,又是全球下三叠统底界的GSSP,也是全球三叠系底界(即全球三叠系与二叠系之间界线)的GSSP,亦是中生界与古生界的GSSP。这条界线的确定,凝聚了我国几代三叠系专家们的共同努力,先后

有中国科学院南京地质古生物研究所、中国地质大学、中国地质科学院地质研究所等单位的同行专家分别参与了对我国浙江长兴煤山、四川广元上寺和西藏色龙西山等剖面的研究。上世纪90年代中期,国际地层委员会三叠纪分会专门成立了以中国地质大学(武汉)殷鸿福教授为首的“国际二叠系—三叠系界线工作组”,重点对当时已确定的4条候选层型剖面进行考察和深入研究(除中国的上述3条剖面外,还包括喀什米尔Gu ryl Ravine剖面)。1995年,该国际界线工作组对这4条候选剖面进行了意向性投票,结果大部分委员赞成浙江长兴煤山剖面为全球的界线层型剖面。于次年末,该界线工作组的9名成员联名发表了研究报告,并正式向国际三叠纪分会推荐浙江长兴煤山D剖面作为全球二叠系—三叠系

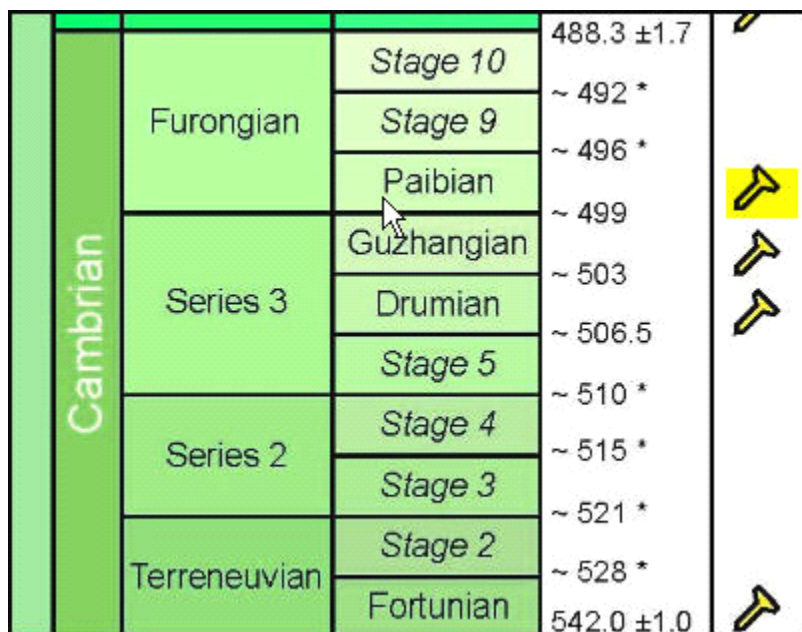
界线的GSSP。2000年期间，该项推荐分别获得国际三叠纪分会和国际地层委员会投票通过。2001年获得国际地质科学联合会的最后批准。该界线层型位于浙江省长兴县煤山D剖面。界线点位在D剖面27C层之底处；确定该界线以牙形石*Hindeodus parvus*种的首现为标志；经测试证实，在界线处存在碳同位素强烈负向漂移的特征，同时存在着广泛分布且反映地质事件的“界线粘土层”和“界线粘土层组”。

最大级别的“金钉子”，呈现在太湖周边，这颗“金钉子”就是2001年3月在阿根廷国际地质大会上顺利通过，并于同年8月10日正式在浙江长兴煤山建碑确立的“全球二叠—三叠系界线层型”。长兴“金钉子”的确立标志着全球古生代这个距今约2.5亿年的交界点终于有了明确的位置，一个不容置疑、不容更易的位置。

早在1983年，长兴煤山就与四川广元、西藏色龙西山、以及克什米尔同时被国际地层委员会列为“二叠—三叠系候选界线层型”。经过我国地层古生物学家长期深入的研究，特别是1993年在煤山剖面发现小欣德刺(*Hindeodus parvus*)，这种具有标准意义的牙形刺化石之后，煤山剖面的地位得以确立。1996年，中、美、俄、德9位科学家在国际刊物上联名发表文章，举荐中国浙江长兴煤山剖面，以后又经国际学术组织包括界线工作组、三叠系分会、国际地层委员会三轮投票，最后经国际“地科联”批准，浙江长兴煤山剖面才成为这一重要地质年代唯一的“金钉子”。煤山地区二叠系顶部的“长兴组”经详细研究，自下而上分为27层。这个关键性的第27层，现在多被称为“煤山D剖面第27层”因为附近还有A剖面、B剖面、C剖面，而现在被用来做标准的是D剖面，厚度仅为16厘米，它又进一步被细分为a、b、c、d4层，二叠—三叠的界线就定在b、c两层之间。这真是一个令人惊叹的剖面16厘米厚的第27层又被分为4小层，每层几乎只有4厘米中间完全没有间断，完全是连续沉积而二叠—三叠的界线，也就是古生代和中生代这么重要的地质年代界线竟然“波澜不惊”地在第27层的b、c两个小层之间悄然通过。强调上述这两点，是因为国际地层学界从二十世纪六、七十年代以来，已经改变了过去的观念，看重的不再是界线分明、上下岩层岩性差异显著的分界点，而是着力寻找岩层连续、没有任何明显间断的界线点，也就是说，界线层型“必须选定在不间断的连续层序位置上”。煤山剖面正是体现了上述原则，而且如此完美、如此不可思议，确令其他候选剖面无以望其项背，堪称“含金量”最高的“金钉子”。

平心而论，煤山“金钉子”在地层古生物研究方面取得的成就在过去是难以企及的。二叠系长兴组的化石面貌，包括古纺锤蜓、华夏菊石，以及三叠系底部克氏蛤、蛇菊石化石组合都已确立多年，并得到国内外地质同行的认同。但这些化石组合并不足以最终确定二叠—三叠的精确界线。所以，在很长时间内，长兴煤山剖面二叠—三叠的界线是划在长兴组和殷坑组之间，这是一种“岩石地层单位”的划分，即明显的板状的长兴灰岩构成“长兴组”代表二叠系顶部而从泥岩开始，泥岩夹薄层泥质灰岩的岩层划为“殷坑组”，代表三叠系之底。现在，通过“小欣德刺”的发现，终于获得国际同行的公认，原先包含在殷坑组中的“煤山D剖面第27层”才是二叠—三叠系分界的关键层位，二叠—三叠的分界线应该精确地从这16厘米厚的“第27层”中间通过“小欣德刺”这种微体化石立下了奇功，“小化石”终于解决了“大问题”。

3. 2001 年批准的湖南湘西花垣县排碧乡中—上寒武统层型剖面；



中国获得批准的第3个“金钉子”是目前划归顶寒武统下部(2005 国际地层表)的排碧阶的界

线层型(彭善池, 2004)。根据最新信息, 国际地层委员会寒武纪分会已基本确定以全球寒武系4 分方案替代传统的3 分方案。以中国科学院南京地质古生物研究所彭善池研究员为首的研究集体, 经过十余年对中国华南地区寒武系全面深入的研究后, 提出了中国华南地区寒武系

划分为4 统9 阶的方案。其中顶部的“芙蓉统”及其该统最下部的一个阶“排碧阶”的底界线层型, 经过以彭善池研究员为首的中、外专家几年的深入、精细的综合研究后, 确认中国湖南排碧剖面是建立全球“芙蓉统”和“排碧阶”及其共同底界的GSSP 的最佳处, 并形成提案于2001 年底上报国际寒武纪分会。2002 年3 月, 经该分会委员们投票表决, 以高票获得通过。2002 年6 月和2003 年3 月, 又分别获得国际地层委员会和国际地质科学联合会投票通过和批准。排碧阶界线层型位于湖南省花垣县排碧乡西北的四新村附近, 界线点位在排碧剖面上的花桥组底界之上369106m 处, 该底界界线以浮游类三叶虫球接子类 *Glyptagnostus reticulatus* 种的首现为标志, 而且经碳同位素测定, 该界线与碳同位素显著正向漂移的底界相一致。中国的芙蓉统和排碧阶已列入2004 年和2005 年版的《国际地层表》中。

2006 年8 月, 全球寒武系芙蓉统和排比阶底阶层型剖面点标志碑立于湖南省湘西自治州花垣县排碧乡, 从此宣告了为这枚世界级“金钉子”在中国建立的保护区, 将敞开臂膀迎接来自全球的科学工作者和旅游爱好者。

芙蓉统和排碧阶是在我国建立的两个全球年代地层标准单位, 分别以湘北古称“芙蓉国”和花垣县排碧乡命名。芙蓉统是寒武纪晚期即距今约五亿年至四亿八千八百万年之间所形成的地层, 排碧阶是芙蓉统所包含的地层, 位于该统下部。此乃划分全球芙蓉统和排碧阶共同底界的“金钉子”所在。

寒武系中—上统的分界, 是一条重要的地质界线, 长期缺乏被国际接受的中—上统正式划分。为确立这条界线的“金钉子”, 世界各国地层古生物学家竞相研究。与他国相比, 中国华南含此界线的地层尤为优越。1981 年10 月, 湖南地矿局405 队区调分队陈永安等进行区测填图时, 发现排碧寒武系剖面并予以实测。次年夏, 中国科学院南京地质古生物研究所彭善池应陈永安

和区调分队长张攀华之邀，到乾州405 队部鉴定排碧剖面所产的三叶虫化石，深悟剖面潜在的科学价值，由此开始了对剖面持续20 余年的科学研究。从1990 年起，中美科学家联合组队对排碧剖面进行了多学科的高精度调查，先后由张文堂（1990—1992）和彭善池（1993—2003）主持，中国科学院南京地质古生物研究所，美国俄亥俄州立大学、堪萨斯大学和内华达大学等单位的数十名专家参与过研究。传统的中—上寒武统界线，百余年来沿袭北欧标准，以豆状球接子化石在地层中大量出现定界，该标准难以在世界多数国家应用。中美联合工作组根据对湘西、湘西北诸多剖面的多年调查和国际对比，于2000 年提出以隐匿舌球接子或网纹雕球接子化石在地层中首次出现为新的定界标准。此提议迅速被国际地层委员会寒武系分会接受，经表决，选定网纹雕球接子首现点。2001年夏，寒武系分会在湘西黔东组织国际现场会议，确定排碧剖面为候选剖面。2001 年底，中美联合工作组正式提案，鉴于传统中—上寒武统界线显著低于新点位，建议新建芙蓉统和排碧阶，以排碧剖面37d 层内网纹雕球接子首次出现的点位，为确定芙蓉统和排碧阶底界的全球层型剖面 and 点位，首现点下距花桥组的底界369 米。2002 年2 月至6 月，提案经国际网纹雕球接子点位工作组、寒武系分会、国际地层委员会三轮投票表决通过，于2003 年2 月由国际地质科学联合会终审批准，至此，寒武系的首批正式年代地层标准单位和寒武系内的首个“金钉子”在我国被正式确立。在全球地层年表中，“芙蓉统”、“排碧阶”是继二叠系“乐平统”、“吴家坪阶”和“长兴阶”之后，再次以中国地名命名的全球标准地层单位。

寒武纪是全球年代地层表中显生代的第一个地质年代，开始于5.7 亿年前，结束于5.1 亿年前，整个时期长达0.57~1 亿年，是地球历史进程和生命演化的一个重要时期，寒武纪之前地层的动物化石较少，而在寒武系的地层中，发现了种类繁多的动物化石，有的古生物学家甚至认为动物各门的祖先在这个时期都已出现，称为“寒武纪物种大爆发”，因而寒武系地层的精确划分，对于研究古海沉积物演变和古生物演化具有重大意义，是国际地学界关注的重大科学问题。湖南花垣排碧地区的寒武系地层属古扬子海台缘斜坡沉积地带，又是由浅海向深海过渡的古生物混生带。这一特殊地质环境下孕育的排碧剖面，具有岩相单一、地层完整、露头连续，界线明显、化石丰富的特点，是解决全球寒武系分统建阶最理想的剖面，因而引起世界地层学界的关注；同时该剖面中的“诸球接子”化石带的标准化石和重要分子均具有广泛的国际寒武系地层对比意义，依靠与其共生的多节类三叶虫及其组合特征，可解决世界各地的中上寒武统地层精确对比问题，由此奠定了排碧剖面这一目前世界上完整的寒武系中上统地层标准剖面的地位。

排碧剖面的岩石和化石，记录了某个具有全球意义的重大地质事件。对生物地层学、岩石地球学、古生物与生物地层学、同位素化学地层等多学科的综合研究非常具有价值，为国际国内提供了一个研究全球6 亿年来地壳运动、环境变迁、生物演化的重要科研基地。

这里许多地质现象和生物化石既具有一定的观赏价值，又给人们以知识的启迪。尤其是在这一剖面上发现了大量保存完好的三叶虫化石，如寒武系花桥组上部灰岩中的开腔骨类化石与三叶虫、牙形石、腕足动物、软舌螺类等共生，这是迄今我国中寒武世晚期开腔骨类最高产出的层位，也是世界上少数几个开腔骨类较高的产出层位之一。专家认为，开腔骨类是一类与海绵类有密切关系、已绝灭的后生动物，是一类生活于浅海环境的底栖固着型生物。

4. 2004 年批准的广西来宾蓬莱滩乐平统底界层型剖面；

第4个获得批准的“金钉子”是上二叠统下部吴家坪阶(亦即乐平统)底界界线层型(金玉等,

Permian	Lopingian	Changhsingian	251.0 ± 0.4		2001)。1997年,国际二叠纪分会通过了全球新的二叠纪年代地层系统划分方案,分为3统9阶。经中国科学院南京地质古生物研究所金玉研究员等的极力推荐与争取,中国上二叠的乐平统及其所划分的长兴阶和吴家坪阶均被列入《国际地层表》,成为全球的对标标准。但当时,其底界的GSSP尚未建立。之后,以金玉研究员为首的中外专家界线工作组对层型剖面进行深入研究,2001年发表
		Wuchiapingian	253.8 ± 0.7		
	Guadalupian	Capitanian	260.4 ± 0.7		
		Wordian	265.8 ± 0.7		
		Roadian	268.0 ± 0.7		
	Cisuralian	Kungurian	270.6 ± 0.7		
		Artinskian	275.6 ± 0.7		
		Sakmarian	284.4 ± 0.7		
		Asselian	294.6 ± 0.8		

了研究报告并向国际二叠纪分会提交了建议将中国广西来宾蓬莱滩剖面作为全球吴家坪阶(乐平统)底界GSSP的提案。该提案于2003年分别被国际二叠纪分会和国

际地层委员会投票通过。2004年被国际地质科学联合会批准。吴家坪阶(乐平统)底界界线层型位于广西省来宾县红水河南岸蓬莱滩,界线点位在蓬莱滩剖面上茅口组(来宾灰岩)顶部6K层之底处,该界线以牙形石 *Clarkina postbitteri postbitteri* 的首现为标志。

由中国科学院南京地质古生物研究所金玉院士领导的国际乐平统底界和国际长兴阶底界工作组经过20多年共同奋斗和不懈努力,经国际地质科学联合会最近正式批准,全球二叠系乐平统底界的全球界线层型和点位GSSP俗称“金钉子”和二叠系长兴阶底界的全球界线层型点位分别被确定在中国广西广西壮族自治区来宾县蓬莱滩南岸和中国浙江长兴县煤山D剖面这是继全球二叠系一三叠系界线层型于。2000年被批准在我国的浙江省长兴县煤山D剖面后我国二叠纪年代地层学研究取得的又一项重要成果

150年来,国际二叠纪晚期沉积的划分和对比,一直以俄罗斯乌拉尔的靴靶阶为标准但由于靴靶阶的标准剖面为陆相地层,沉积间断甚多,难以满足详细国际对比需要的精度我国乐平统具备完整的层序,化石丰富,而且有代表不同生物地理区和沉积环境的乐平期沉积我国学者于20世纪80年代初开始开展乐平统的界线层型研究,经过20多年的努力,中国乐平统的研究精度迅速提高,逐渐被各国地质学者接受作为国际标准二叠系乐平统底界和长兴阶底界的全球界线层型和点位被确定在中国后,使得中国拥有从二叠系乐平统底界到二叠系一三叠系界线的三个连续的“金钉子”而煤山D剖面已经成为世界上独一无二的在一个剖面上拥有两个“金钉子”的剖面,从而使得煤山剖面成为名副其实的长兴阶单位层型长兴阶这一段地层国际对比的标准由于二叠纪晚期这一段地层记录了地质历史中最大规模的生物灭绝事件发生的整个过程,在拥有这三个“金钉子”后,华南地区将成为国际上研究二叠纪末生物大灭绝事件的最重要的地区,针对二叠纪末大灭绝在煤山剖面开展的研究,已经在国际上引起广泛影响,其中包括在世

界著名的Science和Nature杂志上已发表相关论文8篇和其他论文上百篇等目前，每年都有国外学者来到浙江煤山或广西来宾剖面进行与大灭绝相关的研究，其中煤山剖面已经成为国内外研究二叠纪末生物大灭绝事件的重要野外基地。

5. 2005 年批准的浙江长兴煤山长兴—武家平阶层型剖面；

中国上二叠统(乐平统) 长兴阶底界界线层型(沈树忠等, 2005) ，由以中国科学院南京地质古生物研究所金玉 研究员为首的研究集体作了多年的深入研究，界线层型选定在浙江省长兴县煤山D 剖面。2002年前后，以金玉 为首的长兴阶底界国际工作组除对D剖面作深入研究外，还开掘了一条辅助性的C剖面，揭示了界线层的岩石与生物的过渡关系，并对两条剖面进行了包括各门类化石、岩石、岩相、地球化学、事件及同位素年龄等的综合研究。明确了长兴阶底界的定义是以牙形石演化系列 *Clarkina longicauda* *C. wangi* *C. subcaurina* 中 *C. wangi* 种的首现为标志；界线点位在煤山D剖面上长兴组下部的4层之底部处(或C剖面第7层之底)；同时证实，以前被认为长兴阶的标志化石大巴山菊石类和笔石类 *Palaefus sinensis* 的首现层位与牙形石 *C. wangi* 种的首现层位一致。由于该剖面层序完整，化石丰富多样，且完整记录了二叠纪末期生物大灭绝的过程。

Permian	Lopingian	Changhsingian	251.0 ± 0.4	
		Wuchiapingian	253.8 ± 0.7	
	Guadalupian	Capitanian	260.4 ± 0.7	
		Wordian	265.8 ± 0.7	
		Roadian	268.0 ± 0.7	
	Cisuralian	Kungurian	270.6 ± 0.7	
		Artinskian	275.6 ± 0.7	
		Sakmarian	284.4 ± 0.7	
		Asselian	294.6 ± 0.8	
			299.0 ± 0.8	

生物研究所金玉 研究员为首的研究集体作了多年的深入研究，界线层型选定在浙江省长兴县煤山D 剖面。2002年前后，以金玉 为首的长兴阶底界国际工作组除对D剖面作深入研究外，还开掘了一条辅助性的C剖面，揭示了界线层的岩石与生物的过渡关系，并对两条剖面进行了包括各门类化石、岩石、岩相、地球化学、事件及同位素年龄等的综合研究。明确了长兴阶底界的定义是以牙形

石演化系列 *Clarkina longicauda* *C. wangi* *C. subcaurina* 中 *C. wangi* 种的首现为标志；界线点位在煤山D剖面上长兴组下部的4层之底部处(或C剖面第7层之底)；同时证实，以前被认为长兴阶的标志化石大巴山菊石类和笔石类 *Palaefus sinensis* 的首现层位与牙形石 *C. wangi* 种的首现层位一致。由于该剖面层序完整，化石丰富多样，且完整记录了二叠纪末期生物大灭绝的过程。

我国打造成第五枚“金钉子”

2006年6月14日，我国第5枚“金钉子”——“全球吴家坪阶—长兴阶界线层型剖面”揭牌仪式在浙江省长兴县煤山举行。这枚“金钉子”的确立，使长兴成为全球唯一在同一剖面上同时拥有两枚“金钉子”的地方。国际地质科学联合会二叠系分会主席汉德森等参加了揭牌仪式。长兴新确定的这枚“金钉子”，代表着距今约2.62亿~2.53亿年的地质历史记录，是古生代最后一个时段。这期间，发生了地质历史中最大规模的生物灭绝事件和最深刻的全球环境变化，包括剧烈的火山活、动、气候环境的极端异常、海洋和陆生生物遭受空前大灾难。“金钉子”的确立，对于了解这段时期地球历史和生物演化奥秘具有重要意义，同时使得整个长兴阶的顶、底都有了“金钉子”界定。被确定在浙江长兴县煤山D剖面。二叠系乐平统划分为吴家坪阶和长兴阶，代表着距今约2.62—2.53亿年的地质历史记录，是古生代的最后一个时段。这期间，发生了地质历史中最大规模的生物灭绝事件和最深刻的全球环境变化，包括剧烈的火山活动、气候和沉积环境的极端异常及海洋和陆生生物遭受的空前大灾难。乐平统的最末期，大约有95%的海洋无脊椎动物灭绝，陆地上约3/4的科级四足动物灭亡，植物也发生了其演化史上最大的转变。但是长期以来这一时段的生物事件和地质事件的时代对比较为混乱，成为全面了解这一

地球历史的障碍。150 多年来，国际上一直采用俄罗斯乌拉尔山的地层序列作为二叠系的标准。中国科学院南京地质古生物研究所金玉环院士和加拿大卡尔加里大学CharlesHenderson 教授等合作领导的国际工作组证明中国南方的二叠系乐平统层序最为完整，可作为全球对比的国际标准。这一方案被国际地球科学联合会采纳，代替了原俄罗斯的方案。

6. 2006 年批准的湖北宜昌王家湾奥陶纪赫南特阶层型剖面：

上奥陶统顶部赫南特阶(Hirnantian) 底界界线层型(陈旭等, 2005), 最初由中国科学院

Ordovician	Upper	Hirnantian	443.7 ± 1.5			
		Katian	445.6 ± 1.5			
		Sandbian	455.8 ± 1.6			
	Middle	Darwillian	460.9 ± 1.6			
		Dapingian	468.1 ± 1.6			
	Lower	Floian	471.8 ± 1.6			
		Tremadocian	478.6 ± 1.7			
					488.3 ± 1.7	

南京地质古生的研究所戎嘉余等于1999 年建议, 在上奥陶统顶部建立赫南特亚阶, 并以中国湖北省宜昌市王家湾剖面上的笔石 *Norma lograp tus ex traord in a ri2us* — *N. ojsuensis* 带的底作为该亚阶的底界。2003年, 国际奥陶纪分会正式决定, 在上奥陶统顶部新建一个阶——赫南特阶。此后, 陈旭、戎嘉

余等于2004年向国际奥陶纪分会提交了赫南特阶GSSP 的提案, 建议以中国湖北宜昌市王家湾北剖面作为该阶GSSP 的所在地, 其界线点位在该剖面上的观音桥层底界之下117m 处、五峰组近顶部的A FA 192 层处, 赫南特阶的底界以笔石 *Norma log rap tus ex 2traord in a ri2us* 的首现为标志。这之后, 国际同行Ko2ren 和Sobo levskaya (2004) 提出以俄罗斯西伯利亚Om u lev 山的M irny Crcek 剖面作为赫南特阶的GSSP 的提案。2004 年9 月, 国际奥陶纪分会对此二候选剖面进行了投票表决, 结果以20 票赞成, 1 票弃权通过了中国宜昌王家湾北剖面作为赫南特阶的GSSP。

7. 2007 年批准的湖北宜昌黄花场奥陶系第三个阶底界界线

层型剖面

Ordovician	Upper	Hirnantian	443.7 ± 1.5			
		Katian	445.6 ± 1.5			
		Sandbian	455.8 ± 1.6			
	Middle	Darwillian	460.9 ± 1.6			
		Dapingian	468.1 ± 1.6			
	Lower	Floian	471.8 ± 1.6			
		Tremadocian	478.6 ± 1.7			
					488.3 ± 1.7	

中国宜昌黄花场中奥陶统下部大湾阶底界(即中一下奥陶统界线) 界线层型成为该界线的全球“金钉子”(汪啸风等^①) 湖北省宜昌市黄花场奥陶系剖面自1979 年穆恩之等

报道后，1980年由项礼文等建立了年代地层单位大湾阶。之后20余年陆续经曾庆奎等(1983)、汪啸风等(1987、1992、1996)、陈旭等(2000)对该剖面作了深入研究。特别是2001年以来，以汪啸风为首的研究集体，对大湾阶及其黄花场的界线层型剖面进一步开展了深入的专题综合研究。通过高精度生物地层及岩石地层、层序地层和碳同位素地球化学等的综合研究表明，该剖面完全符合建立全球中一下奥陶统界线(即大湾阶底界)层型剖面和点位(GSSP)的条件。该剖面地

处湖北省宜昌市黄花场(在宜昌市北北东方向，距市区22km的公路旁)，交通方便；地层出露完整无缺；中一下奥陶统(即大湾阶底界)界线清楚，其界线点位在该剖面上大湾组下段的Shod216层之底处(距大湾组底界10157m)；界线定义明确，以牙形石*Ba lton ionus? triang u la ris*的首现为标志，界线层内还含有笔石*A zy g o r a p t u s s u e c i c u s*带，其上下组合之间的界线接近于前者的首现点位，另还含几丁虫*B e l o n e c h i t i n a c f . h e n r y i*带，此带的底几乎与前者的首现点位一致。这些特征及其所体现出的优势，极有利于黄花场界线层型在全球范围内的不同相区间进行广泛、精确的对比。同时，在界线层内含有一完整的牙形石*M i c r o z a r k o d i n a s p . A (s e n s u B a g n o l i & S t o g e , 1 9 9 7) → B a l t o n i o n u s ? t r i a n g u l a r i s → M i c r o z a r k o d i n a f l a b e l l u m*演化序列。中一下奥陶统的界线正是以这一演化谱系*B. ? t r a n g u l a r i s*的首次出现为识别标志。其他层序地层、事件地层和化学地层的研究成果均有利于界线的判定。

湖北省宜昌市的黄花乡是一个本来并不起眼的小镇。如今，小镇却吸引了来自全球地学界的眼光。

让世人瞩目的是黄花乡一座刚刚落成不久的“金钉子”纪念碑和新埋下的黄花场剖面指示石碑，它们共同指示着全球中/下奥陶统划分和对比的唯一标准。这是我国至今所获得的第7颗“金钉子”。纪念碑坚实的底座上，镌刻着为中国赢得这枚珍贵“金钉子”的研究单位——中国地质调查局宜昌地质调查中心，以及长期支持这项研究的中国地质调查局、国家自然科学基金委员会、中国地层委员会等单位。这不仅是中国地质科学界的骄傲，也代表了国家的荣誉。

让世人叹为观止的是，其中宜昌地区，或者说，在长江三峡地质公园里占有两枚。一个是由国土资源部宜昌地质矿产研究所牵头取得的黄花场全球中/下奥陶统暨奥陶系第三个阶的金钉子，另一个是由中国科学院南京地质古生物研究所牵头取得的王家湾奥陶系赫南特阶的金钉子。两枚金钉子相距不到20公里。在一个不大的范围内能够树立两个全球界线层型剖面和点位，这在世界上十分罕见，这是几代地质学家和地层古生物学家长期努力、执著追求和不断创新的结果，说明我国奥陶系的研究水平已跻身世界先进水平。

虽然某些意见过于吹毛求疵，在以往通过的“金钉子”中并无先例，但宜昌地质调查中心的奥陶系研究群体坦然面对，继续挑战科学高峰。

项目组与哥本哈根大学S·斯托基博士一起，通过对世界各地近20个穿越中/下奥陶统界线剖面牙形石和笔石的计算机图形对比，进一步证明，所建议的界线标志，即波罗地三角牙形石带底部，不论在介壳相，还是笔石相地层中均能识别和对比，不仅适合全球中奥陶统底界的划分，而且为全球不同生物地理区中/下奥陶统界线附近牙形石带(壳相)和笔石带(笔石相)之间的精确对比也提供了重要依据。

此后，国际奥陶系地层分会在所办的网站上，对黄花场和阿根廷尼吉威尔(Niqivil)这两个全球中/下奥陶统界线层型候选剖面，进行了长达一年多的讨论与评述。一直等到阿根廷科学家

也在国际地科联机关刊物《地质幕》上发表了类似成果后，奥陶系地层分会选举委员才于2006年10月对这两个剖面举行秘密投票。结果黄花场剖面获得了大多数选举委员的赞同，成为全球唯一中/下奥陶统界线层型候选剖面。

按国际地层指南委员会(ICS)制定的选择“金钉子”的程序，国际奥陶系地层分会还必须对最终筛选出的黄花场剖面再进行一次投票。2006年11月，经历了长达四年的的讨论、辩论和筛选之后，在国际奥陶系地层分会选举委员最后一轮秘密投票中，黄花场剖面以压倒多数的赞成票(17票赞成，1票反对)，被国际奥陶系地层分会批准为全球中/下奥陶统和第三个阶界线层型。

2007年4月，国际地层委员会表决通过了黄花场剖面作为全球中/下奥陶统和第三个阶界线层型的最终报告。

2007年5月，国际地质科学联合会正式批准和认定：中国湖北省宜昌黄花场剖面(北纬 $30^{\circ}51'37.8''$ ；东经 $110^{\circ}22'26.5''$)为全球中奥陶统及奥陶系第三个阶(大坪阶)底界界线层型剖面 and 点位(GSSP)，界线点位于距大湾组底界10.57米处，以三角波罗的牙形石首次出现为划分和对比的标志。这个在地球历史上具有全球对比意义的重要纪录距今约4.7亿年。

至此，全球奥陶系7枚“金钉子”全部确定，奥陶系地质研究终于有了全球统一的语言。在场世界顶级的科学竞争中，中国科学家拿下了全部7枚中的3枚，取得了举世瞩目的研究成果。

8. 2007年及湖南古丈寒武系第三统第七阶地层剖面。

Cambrian	Furongian	Stage 10	488.3 ± 1.7	
		Stage 9	~ 492 *	
		Paibian	~ 496 *	
	Series 3	Guzhangian	~ 499	
		Drumian	~ 503	
		Stage 5	~ 506.5	
	Series 2	Stage 4	~ 510 *	
		Stage 3	~ 515 *	
	Terreneuvian	Stage 2	~ 521 *	
		Fortunian	~ 528 *	

由中国科学院南京地质古生物研究所彭善池研究员为首的研究集体正在开展研究的湖南省古

丈河西寒武系(4分方案)第7阶的底界界线层型夺得全球“金钉子”的剖面(彭善池, 2005)。该剖面位于前几年新开的张家界至吉首一级公路边，地层出露连续、完整，化石丰富，国际寒武纪分会已确定的第7阶底界的识别标志——三叶虫 *Lejopyge laevigata* 的首现点位已确定。该剖面的初步研究成果，在2002年秋于法国南部召开的第八届国际寒武系再划

分现场会上向国际同行作了介绍，引起高度关注。经深入研究，争取到了这枚“金钉子”。

确立一枚全球标准的“金钉子”，需要科学上坚持不懈的努力，还要在激烈的国际竞争中胜出。可以说，这项科学研究是一个国家地学研究综合实力和水平的体现，代表一个国家的荣誉。

9. 2008年1月9日全球石炭系首个“阶”级“金钉子”落户柳州

第9颗在中国确认的“金钉子”是中国广西省柳州市碰冲剖面的下石炭统维宪阶的界线层型

Carboniferous	Pennsylvanian	Upper	Gzhelian	299.0 ± 0.0	
			Kasimovian	303.4 ± 0.9	
		Middle	Moscovian	307.2 ± 1.0	
			Lower	Bashkirian	
	Mississippian	Upper	Serpukhovian	318.1 ± 1.3	
			Middle	Visean	
		Lower	Tournaisian	345.3 ± 2.1	

(即杜内一维宪阶界线层型) (侯鸿飞等, 2002)。关于此界线层型, 国际石炭纪分会早在1989年就成立了杜内阶一维宪阶界线工作组, 在世界各地寻找层型剖面。中国广西柳州碰冲剖面经以中国地质科学院地质研究所侯鸿飞研究员为首的专家组多年研究, 取得重要进展。引起国际界线工作组高度重视, 多次到现

场考查研究。根据碰冲剖面的研究成果, 2002年工作组向国际石炭纪分会提交了杜内阶一维宪阶界线(即维宪阶底界界线) 定义的方案供表决, 结果以高票获得通过。即该界线的定义为以有孔虫从 *Eopora stafella ovalis* *E. simplex* 的演化谱系

中 *E. simplex* 的首现为标志(详见侯鸿飞、德维伊斯特, 2002)。此后, 国际界线工作组一致赞同, 广西柳州碰冲剖面是杜内阶一维宪阶界线GSSP 的唯一候选剖面。2003年德维伊斯特和侯鸿飞等联名发表了以广西柳州碰冲剖面为基础的界线研究成果, 并以工作组的名义正式向国际石炭纪分会提交了建议中国广西省柳州市碰冲剖面作为杜内阶一维宪阶界线的全球界线层型的提案, 后来投票表决通过。

1月9日, 记者从中国地质科学院地质研究所获悉, 位于我国广西柳州的碰冲剖面日前经国际石炭纪地层委员会表决, 以全票21票通过, 当选为国际石炭纪维宪阶全球界线层型剖面和点位(即“金钉子”), 这是全球石炭纪首个“阶”级“金钉子”, 也是迄今我国取得的第九颗“金钉子”。这是由国家科技部和中国地质调查局资助, 中国地质科学院地质研究所承担的《石炭系杜内阶/维宪阶全球界线层型》课题, 通过中国与比利时等国科学家的长期合作研究取得的重要成果。

上世纪60年代, 原确定于比利时狄南盆地的维宪阶底界, 被发现不符合现代生物地层原则, 需要重新确立。1989年, 国际石炭纪地层委员会成立了专门的界线工作组, 任务是研究新的界

线定义和寻找体现这一定义的界线层型剖面 and 点位。但由于地质历史上，杜内一维宪阶交界时期，全球海平面普遍下降，岩相分异，沉积和生物发育不连续，致使在漫长时间内研究毫无进展。我国华南地区石炭系地层发育良好，经过长期不懈努力，地质科学家们终于在柳州市北岸乡碰冲村发现理想的地层剖面，经过与广西地调院、贵州地质研究所、比利时、爱尔兰等国内外科学家合作研究，确立了杜内一维宪阶界线层型剖面 and 点位，以简单古拟史塔夫有孔虫的首次出现为标志。碰冲剖面以自身优良的客观地质条件和精湛的研究水平，赢得了广泛的国际赞誉，最终成为全球维宪阶底界界线层型和点位的唯一候选剖面，并经国际石炭纪地层委员会全票表决通过。这是继石炭系底界和中间界线后，有关石炭系的第三颗“金钉子”，也是首个“阶”级“金钉子”。根据古拟史塔夫有孔虫谱系演化确定的这一界线，也是国际上第一次应用底栖化石定义年代界线。