文章编号: 1001-1986(2012)03-0055-04

改进型化学浆液在钱营孜煤矿副井井筒防水堵漏中的应用

徐冰寒[1]，高 岳[2]，徐亚飞[1]

(1. 恒源煤电集团有限公司钱营孜煤矿，安徽 宿州 234000;
2. 中国矿业大学资源与地球科学学院，江苏 徐州 221008)

摘要: 钱营孜煤矿副井立井已进行过多次注浆治理，但其涌水量仍高达 10 m^3/h。针对目前井壁可注性差，如再进行注浆将面临注浆压力高、难度大等问题，提出了采用改进型化学浆液注浆防水堵漏的施工方案。改进型化学浆液为固砂溶胶，该浆液由十余种化学材料配制而成。在系统分析了井筒水文地质工程地质条件后提出了适宜的施工方案。在方案实施中不断进行施工参数动态优化。最终实现注浆后涌水量仅为 0.32 m^3/h，堵水率高达 97%。

关 键 词: 改进型化学浆液；井筒涌水；化学注浆

中图分类号: TD743 **文献标识码:** A DOI: 10.3969/j.issn.1001-1986.2012.03.013

Application of transformed chemical slurry in water prevention and leakage blocking of the auxiliary shaft in Qianyingzi coal mine

XU Binghan[1], GAO Yue[2], XU Yafei[1]

(1. *Qianyingzi Coal Mine*, *Hengyuan Coal-electricity Group Co. Ltd*, *Suzhou* 234000, *China*;
2. *School of Resource and Geosciences*, *China University of Mining and Technology*, *Xuzhou* 221008, *China*)

Abstract: The auxiliary shaft of Qianyingzi mine has been injected for six times to prevent leakage of water. However, the total water inflow is still up to 10 m^3/h. The transformeod chemical slurry was proposed to solve the leakage of water at the poor injection condition and big difficulty. The transformed chemical slurry is composed of several chemical materials for solidifying sand. A suitable injection plan was proposed based on systematic analysis for geological and hydrogeological conditions of the shaft. Construction parameters were dynamically optimized during construction. And the total water inflow decreased to 0.32 m^3/h after injection. The water blocking rate was 97%.

Key words: transformed chemical slurry; water inflow of shaft; chemical grouting

钱营孜煤矿位于安徽省宿州市濉溪县境内。其副井井筒于 2004 年 9 月 3 日开工建造，2007 年 12 月份竣工。井筒全深 708 m，井筒净径 Φ6.5 m。其中表土层段采用双层钢筋混凝土井壁，内壁壁厚为 450~550 mm，外壁厚度为 400~500 mm，基岩段 444 m，壁厚 450 mm。该井筒表土段采用冻结法施工，冻结深度为 264 m；针对基岩段含水层采用地面预注浆法形成注浆帷幕；在建井时井筒施工至垂深 290 m 时，探水涌水量较大，进行了工作面预注浆，井深 310 m 以上基岩段壁后注浆，才使得井筒施工顺利通过。在竣工前又进行了井深 130 ~ 607 m 壁后壁间注浆。在井筒设备安装后，进行锁口施工工作时，整个井筒涌水量达 10 m^3/h。又对该井筒进行了全井筒的壁后和壁间充填注浆，使得涌水量减少到 2.85 m^3/h。该井筒虽然先后经过 6 次注浆治理，但随着雨季降雨量的增加，加之水泥浆壁后注浆后容易返渗的特征，目前整个井筒涌水量增加至 10 m^3/h 左右，且有进一步增加的趋势，若不及时治理将对安装的设备有很大的影响，同时表土层长期大量的失水会过早的导致井筒变形，影响井筒的安全生产[1-3]。

针对目前井筒所面临的紧急情况，确定了整体工程思路如下：**a.** 系统调查井筒水文地质工程地质条件及分析历次注浆效果和影响，确定本次注浆工程的主要目标层段；**b.** 制定合理注浆方案、选择适宜注浆材料，确定预期效果；**c.** 施工组织实施，确保工程质量的前提下提高工作效率，保证井筒在雨季条件下安全；**d.** 工程效果检验，确保预期效果。

1 井筒水文地质工程地质条件

注浆治理井筒，实现防水堵漏，其关键是对现

收稿日期: 2011-05-10
作者简介: 徐冰寒(1965—), 男, 安徽宿州人, 高级工程师, 从事煤矿地质工作.

场的水文地质和工程地质条件充分了解，并依此选用相适应的注浆材料与注浆工艺[4-5]。

钱营孜矿副井井筒揭露的地层自上而下有第四系、新近系、二叠系上石盒子组。第四系、新近系砂层松散，粘土层厚度较大，可塑性强。第四系假整合于新近系之上，平均厚度 64.65 m，主要为粘土、粘土质砂及砂质粘土互层。新近系与下覆二叠系地层不整合接触，平均厚度 153.5 m。二叠系地层主要为上石盒子组，岩性由粉砂岩、砂岩、杂色泥岩组成。井筒穿过二叠系基岩段厚度 444 m，通过对岩石的岩性特征和物理力学性质分析，泥岩及粉砂岩抗压强度低，多属软岩类，岩体质量较差；砂岩胶结良好，坚硬致密，岩石抗压强度较高，稳定性较好，但局部砂岩由于受应力挤压，岩心破碎，岩石质量较差；浅部基岩风氧化带岩石质量差。井筒穿过的含水层主要由表土段含水砂层和二叠系砂岩含水层组成，地层主要含水层及特征见表 1。

2 注浆治理思路及方案设计

2.1 注浆治理思路

通过对井筒的水文地质和工程地质资料、涌水量变化及前 6 次注浆效果进行研究分析得出：由于表土段进行了冻结，故井筒在该段施工过程中无涌水，当井筒掘砌进入二叠系砂岩时，在垂深 290~340 m 位置，工作面出现较大涌水。施工时虽在该位置进行了工作面预注浆，工作面预注浆的结果使得井筒掘进得以勉强通过，但留下了混凝土井壁质量差及接茬缝大问题，存有较为严重的安全隐患。

同时，认为井筒周围地层主要含水层为松散层孔隙水，基岩风化带裂隙水、砂岩裂隙水三类。其中松散层孔隙水经常会在井筒周围冻结地层解冻过程中顺着井壁渗出来，但是经过壁间注浆会得到改善。基岩风化带及砂岩裂隙水，在井筒掘进施工时由于经过含水层，井壁的混凝土质量往往比较薄弱，容易形成渗漏点。在前期通过灌注水泥浆液使得涌水量得以减小，但是水泥浆液在固结的过程中收缩，涌水量会产生明显反弹，这也成为该井壁经过 6 次注浆后涌水量仍然超过 6 m^3/h 的主要原因。

综上，可以认为井筒涌水水源主要来自于基岩风化带和二叠系砂岩水，静水压力大，这些层段也是注浆工程加固防水堵漏的主要目标层段。并且由于以往多次注浆，裂隙的连通性变得很差，颗粒型浆材，如水泥类，水泥−水玻璃类注浆材料无法注入，更由于其呈脆性、且易收缩的特点，无法从根本上解决该问题。因此，纯溶液型的化学浆液应予以选用。

2.2 注浆方案设计

2.2.1 注浆材料的选择

根据整个井筒的水文地质和工程地质资料及前几次注浆的经验，应选择流动性好，可注入微裂隙、具有较大的凝固时间调节范围并符合环保要求的纯溶液的化学浆材。

本次注浆方案针对砂岩含水层的特点，选用中国矿业大学最新研制的固砂溶胶浆液，该浆液为纯溶液型双液化学浆液，由十余种化学材料配制而成。添加专用高效添加剂和辅助剂为 A 液。一定浓度的酸性溶液为 B 液。该注浆材料具有以下特点：①较高的粘结强度和抗渗性能；②较好的安全性能、适用于井下使用，操作简单、方便；③浆液材料来源广泛，成本较低，适宜推广。④与水泥浆相比，在砂土层中灌注时，其扩散方式是以脉状渗透为主，呈面状或扇形扩散；而水泥浆属于悬浊类浆液以脉状劈裂为主，呈线性扩散，其对低渗透性松散层或岩层注浆性差，对地层条件有一定的选择性。该井筒虽然已经过 6 次注浆治理，采取了多种方案，水泥浆液未能凝固并随含水层流失，只在井筒壁部分残留，且随着水泥凝固结实率而出现出水反弹，加之多次对井壁打钻，一定程度上破坏了井壁强度。

通过一系列实验表明这种化学浆液在物理性能(粘度、胶凝时间、聚合特点等)、强度(粘结强度、固砂强度)及高渗透性等方面可以满足固砂防渗的要求。浆液稳定性较好、挥发性低、析水程度小，在煤矿井下可以安全使用。

该浆液主要的工程性能如下(表 2)：①凝胶体强度高；3 d 的极限抗压强度最高可达 13 MPa；②浆

表 1 钱营孜煤矿含水层分布表

Table 1 Aquifer distribution of Qianyingzi coal mine

含水层名称	含水层	单位涌水量 q/(L·(s·m)$^{-1}$)	富水性	平均厚度/m
第四系	第一含水层(组)	0.18	中等	16.85
	第二含水层(组)	0.12	中等	5.55
新近系	第三含水层(组)	0.14	中等	42.60
二叠系	上部砂岩含水层(组)	0.002	弱	74.63
	2 煤上部砂岩含水层(组)	0.003	弱	21.59

表 2　改进型化学浆液性能指标
Table 2　Performance index of transformed chemical slurry

浆液浓度的调节范围/%	起始粘度(20℃时)/cp	粘结强度/MPa	固砂强度/MPa	抗渗透性/(cm·s^{-1})	起凝时间(以呈絮凝为准)	胶凝时间(呈固体状)
10~50	1.7~15	1.7~3.7	1.2~9.5	10^{-5}~10^{-8}	1min5s~35min20s	3min10s~47min30s

液为纯溶液，流动性、渗透性都比较好，且浆液的凝胶时间可以任意的控制和调节；③与岩土体之间的相互的黏结力特别大，注入土体后与土体牢固固结，补强性和加固性增大；④在低渗透性的微裂隙和砂土层防水堵漏效果明显，尤其在处理流砂层上效果显著。

2.2.2　注浆孔的布置

a. 对于表土层底部 260~290 m 段，因为只有少量的渗水，可以选择较少排数的排孔进行注浆，本段共建立 3 排注浆孔，每排 8 个，深浅交错，深孔 5 m，浅孔 3 m，以切断松散层与基岩的水力联系为目的，同时可在井壁后形成一定厚度的注浆帷幕，减小因排水造成对井壁的附加应力。

b. 风化基岩段和断层破碎带明水点多，接茬缝质量差，该段是本次注浆堵水的重点和关键。在 290~340 m 共建立注浆孔 7 排,每排 8 个孔,孔深 3 m，并对个别的大出水点进行顶水注浆。在 360~600 m，共 13 排。每排 8 个孔，孔深 3 m。采用深孔封堵砂岩裂隙水。

采用下行式注浆，先对明水点进行注浆，然后依顺序排孔注浆。此方法可以快速封堵出水点，也可以迅速切断突水点与含水层间的水力联系。下行式注浆方法的另一优点是保证浆液扩散效果良好。选用的浆孔结构是：孔口管(*Φ*42 mm×400 mm)+裸孔(*Φ*28 mm)，针对明水点配 5 cm 的高压阀。

2.2.3　注浆施工工艺

选用的固砂溶胶浆材，分 A/B 两种组分，双液双注。采用 QB50/18 化学注浆专用型气动双液注浆泵，实现双液无极变比可调注浆。

采用风锤开孔，孔径 *Φ*42 mm，深 400 mm。安装孔口管→安设高压球阀→用 *Φ*28 mm 钻头穿过约 6.7 cm 球阀破壁(下简易套管)→抽钎关闭球阀、连接混合器与注浆管路→开启注浆机进行压水→打开球阀→注入化学浆液→调整凝胶时间封孔或者用水泥水玻璃双液浆封孔→关闭球阀→换孔。

3　注浆过程及质量控制

注浆过程质量控制是指为了保障注浆达到预想目的，在注浆方法选择、注浆设计、注浆施工监控、注浆效果检验等方面采取的一系列工程措施和综合技术方法[6-7]。

3.1　浆液比例调试

注浆施工前，可根据施工地点的水文地质与工程地质条件、工程要求、材料性能等进行配方试验，确定具体的配方和配比。但由于室内实验条件与现场存在差异，因此室内实验的结果要根据野外施工实际进行调整，以适应现场的工程地质和水文地质条件。在注浆过程中及时根据施工情况调节浆液配比，从而对浆液凝固时间、强度等进行有效控制。

用注浆材料制作抗压模型，现采用标准抗压试件，即制作圆柱形试样，截面直径 5 cm，高 10 cm[8]。将上述各主要配比的试样在 20℃的水中养护 3 d 后在压力机上进行单轴抗压强度试验，便可以获得各种浆液固结物的抗压强度。表 3 为试样的抗压强度试验数值，试验表明结石强度为 1.00~6.70 MPa。

表 3　饱和浆液固结体的单轴抗压强度实验结果　MPa
Table 3　Compression test results of slurry indurations

A 液与 B 液体积比	B 液浓度 6% 添加剂用量 4%	B 液浓度 8% 添加剂用量 4%	B 液浓度 12% 添加剂用量 4%
10∶3	8.50	10.50	6.70
10∶4	4.85	5.80	2.75
10∶5	3.15	4.25	3.10
10∶6	2.00	1.50	1.50

在实际施工中，如果单位注浆量大，注浆压力小时，适当增加 B 液比例，以缩短凝固时间；而在注浆压力大，进浆缓慢时，要适当降低 B 液比例。在同一注浆孔内也要根据实际情况及时调节浆液配比。如果单位注浆量基本稳定，则在达到设计注浆量前要增大 B 液比例，缩短凝固时间，如果单位注浆量逐渐减小，则浆液比例可保持不变，或适当减小 B 液比例。这是注浆参数的动态调节。

3.2　跑浆处理

由于井壁接茬、裂隙相互连通以及注浆孔的存在，浆液扩散到这些部位时，就会产生漏浆，化学浆液凝固时间较短，因此漏浆后数分钟内基本就能凝固。裂隙和接茬渗浆对堵水起到了良好的作用，钻孔之间的串浆也可以作为注浆效果检验的一个手段，是评估注浆扩散半径的重要参考。但对于跑浆量大的孔隙和破裂裂隙，在条件许可的情况下应用纱布或木楔进行堵塞。

4 注浆效果评价

目前，注浆工程中常用的注浆效果检查方式有：注浆全过程中注浆压力—注浆量—注浆时间控制法(PQT)，物探法(TPS)，检查孔法和数字钻孔摄像法。本工程为煤矿副井注浆治理项目，与一般的注浆工程无论在工程条件，还是工程施工过程都有很大的不同，特别是施工期间需要保证副井正常运转。因此，对于本工程的注浆效果评价不宜采用钻孔和物探的检查方式。只有在注浆工程施工结束后的一段时期内观测整个井筒的涌水量这一个重要指标来评价注浆效果。

工程施工结束后，整个井筒涌水量由原来的 10 m^3/h 降到 0.32 m^3/h，堵水率高达 97%。达到了防水堵漏的要求，保障了副井安全生产，取得了非常满意的工程效果。

5 结 论

a. 系统分析了钱营孜煤矿副井井筒水文地质工程地质背景，提出井筒涌水水源主要来自于基岩风化带和二叠系砂岩水，静水压力大。由于多次注浆，裂隙的连通性变的很差，水泥类等颗粒型浆材由于呈脆性易收缩的特点无法从根本上解决井筒涌水问题，而需采用溶液型化学浆液解决该问题。

b. 提出采用改进型化学浆液治理井筒涌水，并通过系列室内试验获得了改进型化学浆液和浆液固结体的性能指标参数。这些参数对于注浆设计及施工具有指导意义。

c. 进行了注浆设计，并且施工后取得非常满意的效果。整个井筒涌水量由原来的 10 m^3/h 下降到 0.32 m^3/h。表明所采用的改进型浆液有良好的防渗堵水能力，具有广阔的推广前景。

参考文献

[1] 王档良，童培国，武善元. 化学灌浆治理巨厚表土层立井井壁漏水[J]. 水文地质与工程地质，2007，34(5)：20–23.

[2] 王档良,姜振泉. 在建矿井井壁渗漏地质成因分析及化学注浆治理[J]. 建井技术，2009(1)：24–28.

[3] 王档良. 岩体中化学灌浆压力公式探讨[J]. 矿业快报，2007(9)：50–52.

[4] 王档良，隋旺华. 岩体灌浆压力变化规律实验研究[J]. 金属矿山，2008 (1)：53–55.

[5] 王档良,鞠远江. 杨庄煤矿副井破裂井壁多次治理效果对比分析[J]. 煤炭科学技术，2009，37(1)：35–38.

[6] 坪井直道. 化学注浆法的实际应用[M]. 吴永宽，译. 北京：煤炭工业出版社，1980.

[7] 《岩土注浆理论与工程实例》协作组. 岩土注浆理论与工程实例[M]. 北京：科学出版社，2001.

[8] GOODMAN R E. 岩石力学原理及其应用[M]. 王鸿儒，译. 北京：水利电力出版社，1990.

(上接第 54 页)

[15] 闫志刚，杜培军，郭达志. 矿井涌水水源分析的支持向量机模型[J]. 煤炭学报，2007，32(8)：842–847.

[16] 李再兴，张凤鸣，庞良，等. 有关矿井突水水源判别方法的探讨[J]. 地下水，2009，31(5)：16–20.

[17] 张瑞钢，钱家忠，马雷，等. 可拓识别方法在矿井突水水源判别中的应用[J]. 煤炭学报，2009，34(1)：33–38.

[18] 毕作庆. 大平煤矿矿井涌水量数值模拟研究[D]. 阜新：辽宁工程技术大学，2010.

[19] 李定龙. 应用神经网络对煤矿突水预测评价[J]. 煤，1998，7(6)：18–19.

[20] 魏永强，梁化强，任印国，等. 神经网络在判别煤矿突水水源中的应用[J]. 江苏地质，2004，28(1)：36–38.

[21] 吴翠娟. 基于神经网络的矿井涌水量预测研究[J]. 中国煤炭，2009，35 (10)：105–108.

[22] 张自政，杨勇，田立娇，等. 模糊评价分类模型在矿井底板突水判别中的应用[J]. 矿业安全与环保，2010，37(6)：41–43.

[23] LANTZY R J，DACEY M F，MACKENZIE F T. Catastrophe theory: Application to the Permian mass extinction[J]. Geology，1977，5(12)：724–728.

[24] 路德泽. 突变理论与疾病控制[J]. 锦州医学院学报，1988，9(4)：349–351.

[25] 高晓，李坷凌，陈蕾. 小型煤矿矿井涌水量预测方法探讨[J]. 地下水，2009，31(1)：28–32.

[26] 张玉法，张秀军，邹冠贵. 白皎煤矿涌水量的预测[J]. 采矿技术，2009，9(6)：49–50，69.

[27] 徐高强. 山西省煤矿区矿井水涌水量预测模型研究[D]. 太原：太原理工大学，2008.

[28] 魏军. 矿井涌水量的数值模拟研究[D]. 阜新：辽宁工程技术大学，2006.

[29] 刘洋，张幼振. 浅埋煤层工作面涌水量预测方法研究[J]. 采矿与安全工程学报，2010，27(1)：116–120.

[30] 任欣，万新南. 基于 MATLAB 的 AR 及 BP 模型在矿井涌水量预测中的应用与比较[J]. 煤炭技术，2009，28(3)：64–66.

[31] 郭飞，朱学愚，吴剑锋. 多层递阶非平稳时间序列模型预测矿坑涌水量[J]. 南京大学学报(自然科学)，2000，36(3)：300–305.

[32] 李春华，李春静. GA 优化 GNNM(1,1)的煤矿涌水量预测[J]. 水电能源科学，2011，29(2)：25–27.

[33] 刘北战，梁冰. 基于 SVM 降雨充水矿井涌水量预测[J]. 辽宁工程技术大学学报(自然科学版)，2010，29(s1)：72–74.