

建设行业从业人员培训系列丛书

# 预拌混凝土质量、 安全事故案例剖析

YUBAN HUNNINGTU ZHILIANG  
ANQUAN SHIGU ANLI POUXI

黄荣辉 ◎ 编著



附赠  
1DVD光盘



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

建设行业从业人员培训系列丛书

# 预拌混凝土质量、 安全事故案例剖析

黄荣辉 编著



机械工业出版社

本书收集了一些预拌混凝土企业在生产、运输、施工中出现的质量、安全事故典型案例,从这些真实案例中剖析了事故发生的原因,并给出了今后应如何预防的有效措施,希望后人不再重蹈覆辙。本书对工程设计、工程施工、预拌混凝土生产企业提高管理和技术水平,减少事故发生起到了指导作用,可作为建设行业人员培训用书,还可作为职业院校建筑类师生的参考书籍。

本书配套《商品混凝土公司泵机罐车操作人员培训视频片》光盘。

### 图书在版编目(CIP)数据

预拌混凝土质量、安全事故案例剖析/黄荣辉编著. —北京:机械工业出版社, 2012. 9

(建设行业从业人员培训系列丛书)

ISBN 978-7-111-39761-8

I. ①预… II. ①黄… III. ①预搅拌混凝土-质量管理②预搅拌混凝土-安全事故-案例 IV. ①TU528.52

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第219059号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:王莹莹 责任编辑:刘思海

版式设计:霍永明 责任校对:潘蕊

封面设计:马精明 责任印制:张楠

高教社(天津)印务有限公司印刷

2012年11月第1版第1次印刷

184mm×260mm·7.5印张·166千字

0001-3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-39761-8

ISBN 978-7-89433-657-6(光盘)

定价:24.00元(含1DVD)

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066 教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010)68326294 机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010)88379649 机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010)88379203 封面无防伪标均为盗版

# 前 言

预拌混凝土已生产和应用了数十年，在获得成绩的同时，广大技术和管理人员也为经常遇到的一些病害和事故而烦恼。编者常常收到一些来电，询问有关混凝土通病方面的问题，因此搜集了一些混凝土裂缝、缓凝、离析、泌水、冬期施工病害、耐久性病害等方面的典型实例，在拜读了我国许多著名混凝土专家的相关著作后，结合编者多年的工作经历，编写了本书。

本书对一些混凝土病害（事故）实例进行了剖析，叙述了混凝土相关质量问题产生的原因、处理方法和防治措施。由于事故往往涉及诸多因素，许多时候各种因素又交织在一起，因此本书仅为抛砖引玉，提出编者自己的看法，仅供参考。希望广大工程设计、监理、施工、生产管理和技术人员都来参加讨论，从而进一步促进和提高预拌混凝土生产和质量管理水平。

几十年混凝土生产企业的工作实践证明，安全生产是企业的头等大事。编者曾亲眼目睹过许多悲惨的安全事故，都是违反操作规程造成的。尤其对于泵车或运输车不按操作规程作业导致的安全或质量事故，如泵车先收腿后收杆，导致泵车倾翻；泵车臂架与高压线未保持安全距离，致使车毁人亡；润管稀砂浆未排在模板外，使混凝土结构强度不合格；混凝土运输车接料前未将罐内积水排净，造成混凝土离析；混凝土车到现场不出示标志，泵工不核查型号，错用混凝土；混凝土在现场停留超时，导致结构混凝土不合格，等等。因此，占混凝土生产企业员工人数80%以上的泵车、罐车司机能否按要求正确操作，就显得十分重要。为此，本书收集了有关安全方面的事故实例，并进行了必要的剖析，以帮助后人减少和避免安全事故的发生。

在此，要特别感谢沈阳施达特机械有限公司王福良总经理给本书提供了重要的实例和帮助；感谢辽宁省混凝土协会、辽宁新元混凝土公司、沈阳东辉混凝土公司和沈阳四方混凝土公司对制作本书配套光盘《商品混凝土公司泵机罐



车操作人员培训视频片》提供的支持。

总之，衷心地企盼本书及配套光盘能给广大混凝土工作者带来有益的启示和帮助，并恳望大家提出宝贵意见，以便集思广益，不断完善。

编 者

# 目 录

## 前言

<b>第 1 章 裂缝</b> .....	1
案例 1-1 某化工厂地上露天热污水池工程池壁裂缝 .....	1
案例 1-2 某市图书音像配送中心地下室 C60 混凝土剪力墙开裂 .....	5
案例 1-3 某高层建筑剪力墙开裂 .....	6
案例 1-4 某 20m 预制预应力大梁开裂 .....	7
案例 1-5 某框架工程无粘结预应力大梁开裂 .....	9
案例 1-6 厚壁梁及墙式结构由于表面冷却及收缩, 施工后 30d 产生裂纹 .....	11
案例 1-7 地面混凝土初凝前被雨水侵袭而开裂 .....	12
案例 1-8 超长混凝土地面无分割, 产生无规则裂纹 .....	13
案例 1-9 混凝土施工冷缝造成楼面开裂 .....	13
案例 1-10 梁板结构因施工不当产生裂纹 .....	14
案例 1-11 某大型设备基础浇筑后 4 个月出现裂缝 .....	15
案例 1-12 某水处理吸水池混凝土池壁产生裂纹 .....	17
案例 1-13 某电影院楼座大梁产生裂纹 .....	18
案例 1-14 某工程大梁 14d 拆模后开裂 .....	20
案例 1-15 某大桥由于预应力钢筋孔道中冲洗水未排净, 水结冰使混凝土结构产生纵向裂缝 .....	22
案例 1-16 某工程的混凝土烟囱内表面沿全高出现严重的竖向裂缝 .....	22
案例 1-17 某钢筋混凝土结构办公楼九层楼板拆模 28d 后出现大面积贯通裂缝 .....	23
案例 1-18 某工厂大型设备基础混凝土浇筑后出现裂缝 .....	24
案例 1-19 某工程梁板柱同时浇筑混凝土, 拆模后发现柱与梁板交界处出现横向裂纹 .....	27
案例 1-20 梁板结构混凝土浇筑后, 表面出现顺筋裂纹 .....	28
<b>第 2 章 缓凝</b> .....	30
案例 2-1 外加剂计量秤故障造成混凝土缓凝 .....	30
案例 2-2 由于使用脱硫灰造成混凝土缓凝 .....	31
案例 2-3 某发电厂点炉时喷油助燃的喷油灰未检查就掺入混凝土, 造成混凝土缓凝 .....	33
案例 2-4 某工程混凝土由于泵送剂严重超量, C40 混凝土柱浇筑后 4d 未终凝 .....	34
案例 2-5 初春季节浇筑的某 C30P8 混凝土游泳池底板工程, 出现上硬下软和“橡皮土”现象, 且混凝土养护过程中, 表面出现泛白霜现象 .....	35
<b>第 3 章 离析、泌水、堵泵</b> .....	36
案例 3-1 聚羧酸应用不当引起的离析、泌水 .....	36
案例 3-2 水下灌注桩浇筑后, 拔出导管时, 桩顶面冒水和气泡 .....	41
案例 3-3 罐车司机交接班时未检查洗车水是否倒尽, 致使混凝土离析 .....	44
案例 3-4 原材料质量不合格, 引起混凝土泌水 .....	45
案例 3-5 采用滚筒筛水洗砂, 混凝土泌水 .....	46



<b>第4章 混凝土冬期施工病害</b> .....	47
案例4-1 冬期施工（冬施）混凝土梁板不及时覆盖受冻 .....	47
案例4-2 冬施时未对老混凝土加热，致使新老混凝土交界处有冰纹，结合不良 .....	51
案例4-3 冬施混凝土外加剂过量，造成混凝土后期强度降低 .....	52
案例4-4 越冬工程基础、地下室底板冻胀鼓裂 .....	53
案例4-5 冬施未对基土防冻胀保温进行验算，造成筏板起鼓开裂 .....	53
案例4-6 冬施采用错误方法除去待浇筑混凝土模板内的积雪，险酿质量事故 .....	56
案例4-7 冬施用吹风机除雪，积雪吹入柱模中，造成混凝土柱下部1米多高都是雪 .....	57
案例4-8 混凝土浇筑前未收听未来5天天气预报，混凝土未加防冻剂；混凝土用粉煤灰不合格，浇筑混凝土后突然大幅降温，内外因致使混凝土面层受冻 .....	58
<b>第5章 混凝土耐久性病害</b> .....	61
案例5-1 混凝土冬期施工掺盐导致混凝土开裂 .....	61
案例5-2 盐碱地区混凝土受腐蚀 .....	62
案例5-3 混凝土碱集料反应 .....	63
案例5-4 某水电站大坝冻融事故 .....	65
案例5-5 含氧化镁集料引起混凝土破坏 .....	69
案例5-6 含硫酸盐集料对混凝土工程的损坏 .....	69
案例5-7 某市快速干道隔音板混凝土基础盐剥蚀 .....	70
案例5-8 某市物流公司混凝土地面冻融剥蚀 .....	71
案例5-9 某建筑物混凝土碳化开裂 .....	72
案例5-10 某铸钢车间使用26年后，屋面板、桁架先后发现裂缝，随后混凝土陆续剥落，钢筋腐蚀 .....	74
<b>第6章 其他原因造成的病害</b> .....	76
案例6-1 高效减水剂原料不合格，造成混凝土引气量过大 .....	76
案例6-2 粉煤灰只检细度就入仓，造成混凝土“闷罐” .....	77
案例6-3 水泥需水量超标，造成混凝土不合格 .....	78
案例6-4 混凝土发生急凝 .....	79
案例6-5 搅拌站同时采用聚羧酸高效减水剂和萘系高效减水剂生产混凝土，导致混凝土和易性不良 .....	80
案例6-6 粉状材料入错仓，造成混凝土不合格 .....	82
案例6-7 某工程清水混凝土，表面蜂窝麻面 .....	83
案例6-8 某医院加速器室C40自密实混凝土墙，由于混凝土生产后期砂石质量失控致使放射性混凝土出现严重蜂窝、“狗洞” .....	84
案例6-9 混凝土压光地面硬化后，表面出现若干不规则小裂缝或浅坑 .....	86
案例6-10 压光混凝土地面由于掺加混合材料而起灰 .....	86
案例6-11 混凝土运输车无标识，错用混凝土造成返工 .....	88
案例6-12 泵车司机未核查业主生产委托单，导致一层柱错浇混凝土 .....	89
案例6-13 某建筑群两栋楼同时施工，罐车司机到现场不“唱票”，泵车司机不核查发货单和标识牌，致使C10混凝土注入墙柱结构中 .....	89
案例6-14 润管稀砂浆注入结构，混凝土结构部分无强度 .....	90



案例 6-15	混凝土运输过程中采用“捎砂浆”法,造成结构混凝土分层	91
案例 6-16	某混凝土公司 C40 混凝土超时(7h)使用,浇筑的混凝土大梁强度不合格	92
案例 6-17	初春时节,某搅拌站供应的混凝土中发现冰块,险酿质量事故	93
案例 6-18	某工程六层以上 C60、C50 混凝土柱主体验收时,各层皆有 1~2 根柱不合格	93
案例 6-19	罐车错进站,导致 C10 混凝土错入 C30 混凝土剪力墙结构中	94
案例 6-20	某混凝土公司搅拌站,由于计量系统失灵,导致生产的混凝土不合格, 浇筑的数个工程中的梁、板、柱拆除返工,损失严重	95
案例 6-21	采用两种水泥搅拌混凝土,造成混凝土墙面起皮、脱落	96
<b>第 7 章</b>	<b>安全事故</b>	<b>98</b>
案例 7-1	长时间连续作业,酿成事故	98
案例 7-2	泵车支腿地面塌陷,致使翻车	98
案例 7-3	泵车因支腿支撑处与基坑边距离小于安全距离而翻入基坑,造成严重事故	100
案例 7-4	泵车布料杆离高压线太近,触电起火,车毁人亡	102
案例 7-5	泵车布料杆与工地脚手架相撞,造成臂杆弯折断落,将下部两名作业工人砸死	103
案例 7-6	泵管带压拆卸,将操作工人大腿崩折	104
案例 7-7	由于擅自违规修理泵车臂杆,留下事故隐患而引发事故	104
案例 7-8	泵车作业前先支杆,后支腿,泵车倾翻掉入基坑	105
案例 7-9	司机疲劳驾驶,酿成事故	106
案例 7-10	车辆拐弯不减速,造成倾翻	106
案例 7-11	车轮陷入施工现场回填土沟中,发生倾翻事故	107
案例 7-12	罐车超速行驶,将行人撞伤、撞亡	107
案例 7-13	罐车起车时不瞭望、不发出启动喇叭声提醒,致使车后部质量检查员被甩下, 造成重伤	107
案例 7-14	冬季清理车辆,司机从高处摔下受伤	108
案例 7-15	清站工在搅拌机内作业时搅拌混凝土操作手开动机器,造成清罐工致残	109
案例 7-16	搅拌站带式输送机将作业工人卷入,造成上肢残疾	109
<b>参考文献</b>		<b>110</b>



# 第 1 章 裂 缝

预拌混凝土与传统的现场搅拌混凝土相比，有三大特点：即胶结料用量大、坍落度大、收缩值大（为满足运输和泵送要求，又掺入外加剂，因此预拌混凝土的收缩值大大增加）。预拌混凝土的“先天不足”，会使其在硬化过程的干缩、沉缩受环境温度、风速等因素的制约，同时一些设计的不合理，也会对混凝土的开裂产生不利影响。混凝土硬化后的化学收缩、碳化收缩等又会带来体积的变化。因此，预拌混凝土裂缝的出现是不可避免的，也就是说，混凝土存在裂缝是必然的，但需要把裂缝控制在最小限度内。

需要强调的是，混凝土的裂缝与设计、材料、施工、环境等因素息息相关，特别要提出的是设计这一关，许多情况下，由于设计不合理，往往产生了不应该出现的裂缝，如超长结构的墙体等部位混凝土收缩和温度裂纹的验算与合理配筋等问题，希望能引起设计单位的高度重视。

## 案例 1-1 某化工厂地上露天热污水池工程池壁裂缝

### 事故简介

某水池长 76m，宽 46m，高 10m，池壁厚 400mm，基础底板为 C40P8 混凝土，底板施工后约 20d 浇筑池壁 C40P8 混凝土，砂细度模数为 2.0，设计要求抗裂防水剂掺量为 6%。为防止胀模，池壁分两次浇筑。第一次于 8 月上旬施工，环境温度约 30℃，浇筑后第二天未拆模但池壁上部发现裂纹，3d 后拆模，墙体长向中部发现池壁内外约有 7~8 条裂缝，短向中部也有 1~2 条裂纹，数日后两个方向陆续出现一批批竖向等距离裂缝，裂缝间距约 3~4m，两周后，裂缝数量增加至 70 余条，裂缝在池壁两侧几乎对称。建设、施工、监理、混凝土公司共同开会，查找原因。业主认为混凝土强度增长过快是主要原因；混凝土公司则对超长结构未设加强带，抗裂防水剂掺量偏低，墙体抗裂水平筋偏粗、间距过大及带模养护时间过短等提出异议。

在总结第一次施工问题的基础上，9 月上旬继续施工水池上半部墙体。墙体上端有纵横 7 道大梁，如图 1-1 所示，相当于墙的长度减少了。混凝土公司更换了水泥品种，改进了砂石质量，适当调整了混凝土配合比；经设计单位同意，将抗裂防水剂掺量提至 8%；施工单位加强了养护工作，墙体带模养护 10d，浇筑混凝土后第四天松动模板对拉螺栓，从墙体上部设水管喷淋浇水，拆模后墙体裂纹数量较第一次施工明显减少，裂纹主要发生在池壁长向中部，短向基本没有发现裂纹。

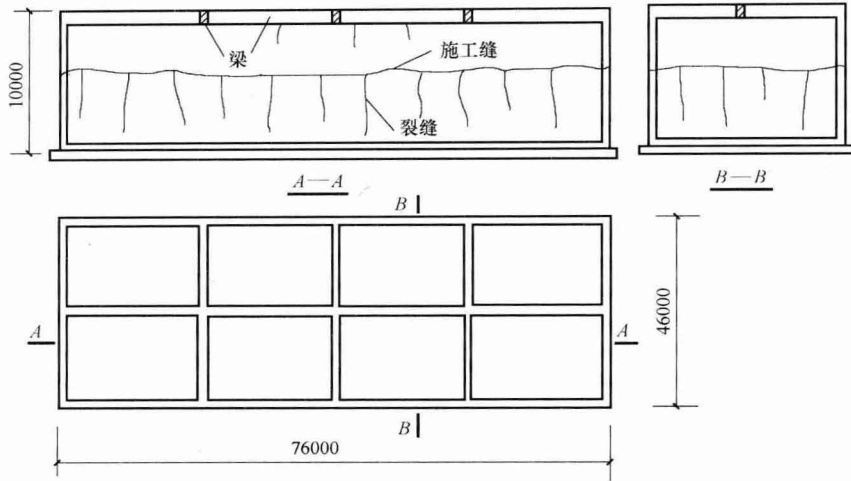


图 1-1 污水池平面图、剖面图

## 原因分析

### 1. 混凝土原材料及配合比

两次混凝土配合比见表 1-1。

表 1-1 混凝土配合比

浇筑顺序	水泥品种	水泥/ (kg/m <sup>3</sup> )	粉煤灰/ 矿渣粉/ (kg/m <sup>3</sup> )	膨胀剂 HEA/ (kg/m <sup>3</sup> )	砂/ (kg/m <sup>3</sup> )	石/ (kg/m <sup>3</sup> )	水/ (kg/m <sup>3</sup> )	外加剂/ (kg/m <sup>3</sup> )	R <sub>7</sub> /MPa	R <sub>28</sub> /MPa
第一次	P. O 42.5	320	80/50	30	738	1025	175	12.0	37.0	50.1
第二次	P. S 32.5	370	53/0	37	802	981	175	10.7	31.9	43.7

第一次浇筑：池壁下部 5m 墙体采用某厂 P. O 42.5 水泥（水泥强度： $R_3 = 32\text{MPa}$ ， $R_{28} = 48.7\text{MPa}$ ），水泥用量  $320\text{kg/m}^3$ ，胶结料总用量（在这里，胶结料总用量 = 水泥用量 + 粉煤灰用量 + 矿渣粉用量 + HEA 膨胀剂用量） $480\text{kg/m}^3$ ，用量偏大。由于该水泥早期强度高，且  $C_3A$ （铝酸三钙）含量高，发热量也必然高（该品牌水泥熟料中  $C_3A$  含量高、水化速率快、导致发热量大），导致混凝土收缩较大，这是水池开裂的原因之一。下部墙体采用的砂细度模数为 2.0，砂偏细对控制裂纹不利。

第二次浇筑：水池上部改用 P. S 32.5 水泥配制，C40 混凝土胶结料总量下降至  $460\text{kg/m}^3$ ，水泥用量为  $370\text{kg/m}^3$ （水泥强度： $R_3 = 17.2\text{MPa}$ ， $R_{28} = 43.5\text{MPa}$ ），降低了混凝土早期发热量（换水泥后，控制了  $C_3A$  含量，水化速率慢，发热量小，但 P. O 42.5 水泥和 P. S 32.5 水泥中  $C_3A$  含量由生产厂商控制，与强度等级无直接关系）。同时改用优质机制砂，细度模数为 2.9，从而使上部裂纹得到有效控制。

### 2. 设计方面

1) 王铁梦教授在《建筑物的裂缝控制》一书中写到：“混凝土墙体在均匀降温及收



缩作用下,受到基础底板对墙体的强劲约束,这种约束应力可导致结构的贯穿性裂纹”,这是裂纹产生的主要原因。露天池壁往往经受两种温差及收缩的共同作用,即均匀的温差与收缩引起长墙的约束应力和池壁内外不均匀温差与收缩引起的弯曲应力,两者叠加形成偏拉受力结构,一般表现为壁外宽、壁内窄的贯穿裂纹,壁外表面裂纹多于内表面。

2) 该水池平面尺寸为 $76\text{m} \times 46\text{m}$ ,属超长结构,按设计规范要求,地上露天剪力墙应每隔 $20\text{m}$ 设后浇带或加强带,但本工程上下两层混凝土墙均未设加强带,裸露在地上,混凝土收缩和拆模后,墙体表面水分大量流失,很容易开裂。池壁上端纵横有4道大梁,减小了池壁的自由长度,对裂纹控制有利,这应该是上部裂纹较少的原因之一。

3) 抗裂防水剂使用说明书要求,当结构长度 $>60\text{m}$ 时,掺量应为 $8\%$ ,但该工程设计图纸却要求掺量为 $6\%$ ,下部混凝土检测报告证明掺量为 $6\%$ 时混凝土限制膨胀率仅为 $0.019\%$ ,达不到 $0.025\%$ 。上部墙体抗裂防水剂掺量提高到 $8\%$ ,有利于墙体裂纹的减少。

4) 设计中剪力墙水平抗裂筋为 $\phi 22@250$ ,而且设置在主筋内侧。第二次浇筑时,设计单位未采纳混凝土公司的建议,修改水平抗裂筋的直径与间距,这对控制混凝土表面的裂缝不利。

### 3. 施工方面

第一次浇筑混凝土 $3\text{d}$ 后拆模,拆模偏早。当时正值8月炎热天气,日照强烈,环境温度在 $30^\circ\text{C}$ 左右,天气干燥,浇水养护不及时。第二次施工池壁上部养护得到改善,是裂纹减少的重要原因。

## 事故处理

第二次混凝土浇筑后一个月,裂纹发展基本稳定,池内壁用环氧树脂稀浆滚涂两遍。池外壁渗水处裂缝凿开一V形缝,用水泥基结晶抗渗材料嵌缝,修补后保湿养护,以确保其结晶充分膨胀。经再次试水,未发现渗漏。

## 预防措施

### 1. 设计方面

1) 地上长剪力墙易出现裂缝,按GB 50010—2010《混凝土结构设计规范》规定,钢筋混凝土结构伸缩缝最大间距应为 $30\text{m}$ (室内或土中)或 $20\text{m}$ (露天),长剪力墙应设膨胀加强带。

2) 按JGJ/T 178—2009《补偿收缩混凝土应用技术规程》规定,剪力墙限制膨胀率应 $\geq 0.02\%$ 。

3) 墙体水平抗拉筋应进行温度应力验算,且应采用小直径、小间距钢筋,并设置在主筋外侧,如钢筋直径在 $8\sim 14\text{mm}$ 之间,间距为 $150\text{mm}$ 较合理。

4) 墙体混凝土型号不宜大于C35。

5) 近年来有的设计单位采用底板和墙体分离的设计方法(见图1-2某污水处理池大放角图)。王铁梦教授对混凝土裂纹控制提出了“放”和“抗”的观点,这是对裂纹控制



最本质的阐述。

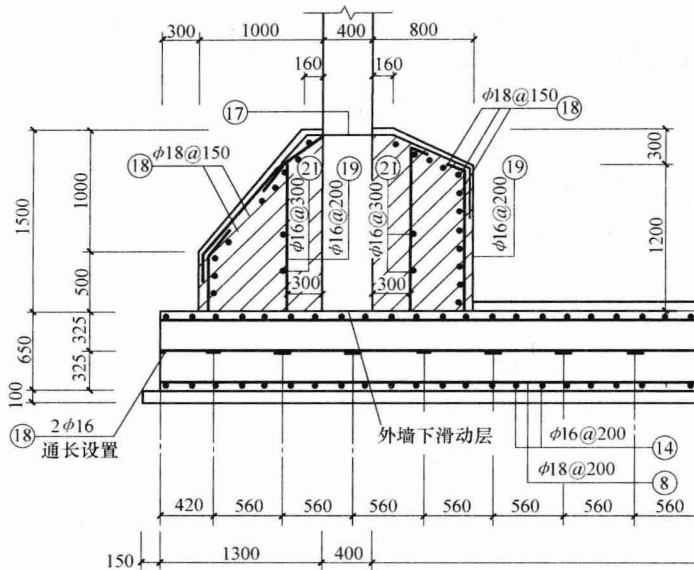


图 1-2 某污水处理池大放角图

“放”是降低对混凝土结构的约束程度。采用混凝土墙体与底板分离的办法，可减少底板对墙体的约束。图中阴影部分为“大放角”，施工顺序为：预应力混凝土底板→预应力混凝土墙→大放角，预应力混凝土墙底部有滑动层，采用4层0.18mm厚塑料薄膜，墙体及大放角与基础底板接触处涂防水胶泥。这样即使底板对墙体的约束取消了，但由于大放角的存在，增长了渗漏水“爬行路途”，对控制墙体裂纹十分有利。

## 2. 混凝土生产方面

1) 要高度重视超长结构配合比设计，采用级配良好的砂石，不宜采用细砂和含泥量 $>3\%$ 的砂，以减少混凝土收缩。在满足泵送的前提下，尽量降低砂率和坍落度。

2) 水泥和胶结料用量不是越多越好，C40混凝土控制胶结料用量不宜 $>450\text{kg}/\text{m}^3$ ，以减小混凝土收缩，并根据设计要求和抗裂防水剂产品使用说明书，合理选用水泥品种、水泥用量和确定抗裂防水剂掺量，对配合比强度和限制膨胀率进行测试，这些必须满足设计要求。

3) 严格控制混凝土坍落度（坍落度指混凝土的和易性，包括混凝土的保水性、流动性和粘聚性），坍落度越大，混凝土收缩就会越大。混凝土应确保连续供应，防止冷缝的产生（冷缝处极易产生渗漏）。

## 3. 施工方面

1) 混凝土应分层浇筑，每层宜在300~500mm，不得漏振或过振，宜采用二次复振。二次复振有利于提高混凝土密实度和强度，从而提高混凝土的抗裂性，减少裂纹。

2) 要高度重视超长结构的养护工作。混凝土带模养护时间为7~10d，浇筑后3d松开对拉螺栓并从墙体上部用小流量水喷淋湿润混凝土，这样不仅可以保湿养护，也可以防止墙体与环境的温度差、湿度差过大，减少混凝土开裂的概率。



## 案例 1-2 某市图书音像配送中心地下室 C60 混凝土剪力墙开裂

### 事故简介

某工程地下室长和宽均为 80m，柱及外剪力墙混凝土为 C60P8。施工时间是 1998 年 3 月，施工时未设后浇带和加强带，浇筑混凝土后约 4d 拆除模板时发现，沿外剪力墙内外部同时出现了等距、整齐的竖向裂纹，裂纹间距约 3m。

### 原因分析

经查阅王铁梦先生的《建筑物的裂缝控制》一书，并请有关专家分析，裂纹产生原因如下：

1) 该工程外墙及柱均采用 C60 混凝土，强度等级较高，这实际上是广义的“大体积混凝土”。因此，墙体散热面大，混凝土低龄期水化热会使其内部保持很高的温度。当时地下室温度约 40℃，下到地下室犹如进入浴池，热气扑面，而外界环境气温只有 10℃，外墙拆模后突然产生很大的温差，导致墙体表面裂纹迅速出现和开展，尤其是地下室坡道处和风口处。

2) 外墙是超长结构，地下现浇钢筋混凝土连续浇筑结构的伸缩缝间距应为 30m，当时未设后浇带和加强带，墙体混凝土一次性连续浇筑完成。

3) 外墙混凝土强度很高，使得胶结料用量也高，结果造成混凝土有很大的收缩。

4) 基础底板对墙体有很大的约束，墙体混凝土收缩受到底板的约束，致使墙体混凝土开裂。

### 事故处理

经建设单位、施工单位、监理单位和专家论证，认定地下室剪力墙裂纹并非混凝土质量问题，并要求外墙及时进行防水和土方回填。两个月后裂纹用肉眼已观察不到了，地下室至今未渗漏。

### 预防措施

1) 地下室超长结构混凝土强度等级不宜 > C35。墙长 > 30m 时，应每隔 30m 设一条后浇带或加强带。此外，设计单位应充分考虑墙体因温度的变化、混凝土收缩引起的应力对结构的影响，并配置足够的水平筋。墙体水平抗裂筋应在主筋外，宜细且密。

2) 地下室超长结构可采用 60d 强度，并在混凝土中掺入一些掺合料，降低水泥用量。一般水泥用量每增加 10kg/m<sup>3</sup>，混凝土内部温度相应升高 1℃。

3) 应采用含泥量小的中砂，在满足泵送的前提下，尽量降低砂率和坍落度，以减小混凝土收缩。



4) 地下室剪力墙应带模养护 5~7d, 坡道处风大, 更要延长拆模时间, 这样有利于混凝土保温保湿养护。

5) 夏季施工且混凝土表面温度较高时, 要注意不可用地下水或大流量水猛浇, 应采取小流量水慢淋的方式, 防止高温混凝土墙面遇冷水引起温度急剧下降而开裂; 环境温度低时, 尤其要防止混凝土拆模后与环境有较大的温差。

6) 拆模后混凝土表面裸露的时间不宜太长, 避免温度的变化引起收缩开裂。因此在决定拆模和回填土日期后, 应做好一切准备, 拆模后 3d 内马上进行回填。对于地下工程, 拆模后及时回填土是控制早期和中期开裂的有力措施, 土壤是混凝土最佳的养护介质。

### 案例 1-3 某高层建筑剪力墙开裂

#### 事故简介

某高层建筑为剪力墙结构, 地上 30 层, 1~5 层为 C50 混凝土墙, 6~10 层为 C45 混凝土墙, 11~20 层为 C40 混凝土墙, 20 层以上为 C30 混凝土墙。拆模后 1~5 层的墙体出现较多竖向裂纹, 裂纹多发生在附墙柱和暗柱附近, 或以接近 45° 的斜裂纹出现在墙的端部, 都具有中间宽、两头尖的外形特征, 并且在墙体两面对称出现。

#### 原因分析

墙体结构裂纹的分布状态和引起裂纹的主要原因与  $\pm 0.000$  以下的结构相同, 主要是温度收缩裂纹。一般情况下,  $\pm 0.000$  以上的墙体结构长宽尺寸较地下墙体小, 但施工期间有相当长的时间暴露在大气之中, 受环境影响大, 当设计选择了较高强度等级的混凝土时, 墙体结构也是裂纹的多发部位。由于墙体结构是重要的承重结构, 裂纹的出现会引起各方面的关注和争议。

这类裂纹在墙厚度较大、混凝土强度等级较高时常有出现, 这是因为墙厚度较大、混凝土强度等级较高时水化热升温 and 散热的影响, 沿厚度方向存在温度梯度和湿度梯度。墙表面的温度低于内部的温度, 自约束产生的温度应力在混凝土表面为拉应力; 由于水分蒸发, 墙体表面的湿度低于内部的湿度, 混凝土表面的干缩大于内部, 内外收缩有差异, 混凝土表面的收缩应力大于内部。当温度收缩应力大于当时混凝土具有的抗拉强度时, 裂纹就有可能在墙体上由表及里地出现、发展。

剪力墙和筒体等竖向结构的设计都充分考虑了荷载的作用, 配置了必要数量的竖向钢筋, 而水平钢筋通常是按传统的构造要求配置的, 没有考虑温度收缩的影响, 而且大多是放置在竖向钢筋的里侧, 不能有效地起到控制墙体温度收缩裂纹的作用。

#### 事故处理

经专家鉴定, 此类裂纹不影响结构安全, 墙体两侧相对应位置出现裂纹, 并不能表明裂纹已在墙厚度方向贯穿。裂纹可能会随环境温湿度变化而变化, 待裂纹宽度基本稳定



后,用环氧树脂一类的材料密封,保护钢筋不锈蚀即可。

### 预防措施

1) 适当增加墙体水平构造配筋,将水平筋置于竖向钢筋外侧,混凝土强度越高,越要重视这个问题。水平钢筋宜采用细的螺纹筋,间距宜控制在 120~150mm。

2) 地上高强度等级混凝土剪力墙是容易出现早期裂纹的部位,其分布规律与地下墙极为相似,采取的防治措施与地下结构基本相同。因受环境的影响要更大一些,当大风、气候干燥时,混凝土浇筑后要注意早期养护,拆模后要立即涂刷养护液,在混凝土表面形成一道保护膜。

3) 根据冯乃谦教授的经验,浇筑混凝土时可采取以下两个措施。浇筑核心筒剪力墙时,在电梯厅进口处的角部留置呈倒八字形的施工缝,以适当延迟洞口上方混凝土的浇筑时间(一般为 1~2d),使墙体混凝土完成一部分收缩,可以有效地防止裂纹的出现。

4) 浇筑剪力墙合龙部位易出现浮浆积聚,必须排除浮浆或适当填入与混凝土同规格的石料,避免在浮浆积聚处形成局部混凝土强度不足的软弱部位以及出现较多的收缩裂纹。

## 案例 1-4 某 20m 预制预应力大梁开裂

### 事故简介

沈阳铁路枢纽东北环线工程 20m 预应力大梁如图 1-3 所示,梁高 900mm,混凝土型号为 C50,胶结料用量为  $520\text{kg}/\text{m}^3$ ,掺高效减水剂,砂率为 45%,坍落度约为 220mm。2007 年 5 月 15 日浇筑第一榀大梁,次日拆模几小时后发现梁上出现部分裂纹,其规律如下:裂纹均发生在梁上部,裂纹长度为 10~15cm,宽 0.1~0.2mm,间距 25~30cm。大梁西侧裂纹比较多,东侧明显少于西侧(大梁南北走向)。

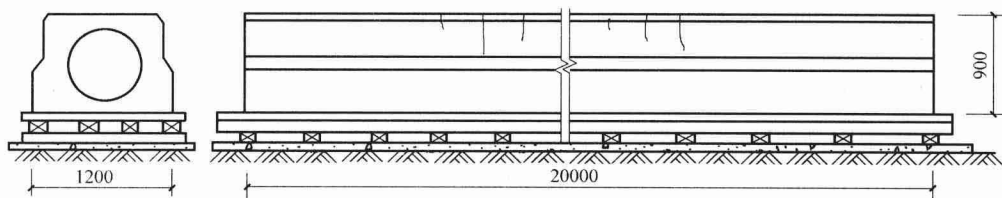


图 1-3 预应力大梁图

### 原因分析

#### 1. 混凝土生产方面

浇筑前两榀大梁时,C50 混凝土坍落度约 220mm,大流态混凝土由于胶结料用量较高,掺入高效减水剂,砂率较普通混凝土大,其早期收缩比非泵送混凝土大得多,这给混



凝土结构裂纹的控制带来较大难度，稍不注意，混凝土很容易产生早期裂纹。

## 2. 施工与环境

1) 地基。本工程地处开发新区，野外作业。大梁梁底座落在农田土上，土壤未夯实，下部无排水措施，易产生梁底地基不均匀沉降，导致大梁开裂。

2) 环境。当天西南风 5~6 级，空气相对湿度为 50%。据资料介绍，当风速为 16m/s 时，混凝土中水分挥发速度为无风时的 4 倍。大梁拆模后，上表面仅覆盖一层草帘子，大梁侧面直接暴露在外面，一旦大风袭击和太阳照射，表面水分蒸发速度就会加快，导致混凝土收缩快，加上梁壁又较薄，就很容易开裂，迎风面裂纹更是多于背风面。而大梁下部靠近土层，由于较潮湿，有梁内蓄水养护，温度差、湿度差都小于上部，裂纹较少。

3) 养护条件。大梁拆模后，施工方在梁端孔洞处砌约 30cm 砖墙，在大梁芯内灌水，梁上部覆盖草帘子。梁体下部由于处于水养护条件，未发现裂纹，而上部因无湿养护条件，便易在梁侧壁拐角应力集中处产生裂纹。

## 事故处理

混凝土裂纹控制是一个系统工程，它涉及原材料质量控制、混凝土生产质量控制、混凝土运输和泵送质量控制，还与设计、施工质量以及环境因素有着密切关系。

### 1. 改进混凝土配合比

胶结料总量（在这里，胶结料总量 = 水泥用量 + HEA 膨胀剂用量 + 粉煤灰用量）降至  $500\text{kg}/\text{m}^3$ ，砂率降至 40%，为提高 20m 大梁抗裂能力，掺入膨胀剂，改进后的 C50 混凝土配合比见表 1-2。

表 1-2 改进后的 C50 混凝土配合比

混凝土配合比									抗压强度/MPa	
水泥/ ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	水/ ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	砂/ ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	石/ ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	HEA 膨胀剂 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	粉煤灰/ ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	外加剂/ ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	砂率 (%)	水胶比	7d	28d
420	160	701	1052	30	50	12.5	40	0.32	42.5	66.8

### 2. 严格控制坍落度

本工程由于梁高 900mm，梁肋较窄，为满足混凝土浇筑需要，供应底部混凝土时，控制出场坍落度在 180mm 左右，这部分混凝土量约  $6\sim 7\text{m}^3$ ，采取适当现场流化办法，使坍落度为 200~220mm，便于混凝土流向梁底和肋下部。梁上部混凝土约  $6\text{m}^3$ ，控制坍落度  $\leq 180\text{mm}$ ，降低 1% 砂率，以提高上部混凝土抗裂能力。

### 3. 施工措施改进

1) 混凝土分两层浇筑，二次复振。根据资料和试验证明，混凝土初振后 1~2h 再次复振，可以提高混凝土密实度，减小混凝土收缩，同时其 28d 强度可提高 10%~15%。该工程混凝土分两层浇筑。第一层浇筑高度 450mm 左右，约需 1h，在第二层浇筑前，对下一层混凝土复振一次。振捣棒采取快进慢拔的办法，便于混凝土中气泡的排出，且可减小





其沉降收缩，然后再浇筑上层混凝土。

2) 提高梁芯内注水高度，改善梁上部养护条件。混凝土最适宜水养护，这对其强度增长、减小收缩都是十分有利的。因此将芯口全部砌死，内部注水高度从 30cm 提升至 70cm，使更多的混凝土得到水养护。

3) 加强梁外覆盖，保湿养护。大梁拆模后，从上部到梁底全部用塑料布包裹一周以上，确保梁上下部混凝土都能得到良好的保温保湿养护，减少了梁内外温湿度差，从而使混凝土梁内外、上下均匀变形。

#### 4. 裂纹处理

上述措施实施后，取得很好效果，梁上未见裂纹，塑料布内布满水珠，混凝土强度增长良好，7d 同条件试件抗压强度达设计强度的 80%。

1) 开始浇筑的大梁裂纹较宽，在裂纹处凿 V 形槽，用水泥基结晶抗渗材料填充，加强湿养护。

2) 大梁上部配预应力筋，张拉时部分裂纹肉眼已经观察不到。

#### 预防措施

1) 郊外浇筑的公路桥梁等构件，由于作业条件差（风大、地基多是农田），要高度注意覆盖养护。有条件的，尽量采用梁内孔注水养护，大梁外部应覆盖塑料布保湿保温养护。大梁地基要充分夯实，做好排水，防止梁底地基不均匀沉降。

2) 高强度等级混凝土并不是胶结料用量越多越好，水泥和胶结料用量高，可泵性好，但混凝土的体积稳定性就差，收缩大。如美国桥梁设计规程规定胶结料用量不应超过  $475\text{kg}/\text{m}^3$ 。

3) 长梁结构极易产生收缩裂纹，宜适量掺加膨胀剂，严格控制混凝土坍落度。

4) 采用二次复振的办法，可提高混凝土密实度、强度，减少裂纹。

## 案例 1-5 某框架工程无粘结预应力大梁开裂

#### 事故简介

2007 年 5~8 月某框架工程浇筑 C50 无粘结预应力大梁及框架柱，每层设 5 榀  $600\text{mm} \times 1600\text{mm} \times 16000\text{mm}$  预应力大梁，使用 P. O 42.5 水泥，大梁上下均配置受拉和受压筋，但中部水平腰筋极少。一、二层梁板柱浇筑后 2d，拆模发现大梁两侧有对称或不对称的竖向裂纹，裂纹中间较宽，两头较窄，呈枣核形，梁底也有部分裂纹，有的与两侧裂纹连通，经超声波探测，裂缝宽度为 0.2mm 左右。建设单位和施工单位怀疑混凝土质量有问题，于是自行更换了两家混凝土公司，分别浇筑三、四层混凝土，拆模后仍然发现类似裂纹。

#### 原因分析

混凝土结构的非荷载裂纹是一个受到多种因素影响的复杂问题，也是当前工程界的一