

预应力混凝土简支梁桥快速施工中预应力损失研究

凌 杰

攀枝花公路建设有限公司 四川 攀枝花 617000

摘 要：本文探讨了预应力混凝土简支梁桥快速施工中的预应力损失问题，概述了快速施工的特点与流程关键环节，并详细阐述了预应力损失的计算方法（包括理论计算公式法、试验法及有限元分析法）及其原因与机理。通过混凝土简支T梁分析实例，展示了数控张拉在复杂结构应力分析中的应用，并提出针对性的应对措施。研究表明，精确计算预应力损失并采取有效应对措施，对于确保预应力混凝土桥梁的结构安全与长期稳定性至关重要。

关键词：预应力混凝土；简支梁桥；快速施工；预应力损失；计算与控制

引言：预应力混凝土简支梁桥作为现代交通网络的核心构成，其施工效率与结构安全至关重要。随着快速施工技术的广泛应用，虽然显著提升了建设速度，但预应力损失问题也愈发凸显，成为影响桥梁长期性能的关键因素。本文旨在深入探究预应力混凝土简支梁桥在快速施工过程中的预应力损失现象，通过系统分析损失的计算方法、产生机理及影响因素，提出针对性的控制措施，以期为保障桥梁结构的安全性与稳定性提供理论依据与实践指导，推动预应力混凝土桥梁建设技术的持续进步。

1 预应力混凝土简支梁桥快速施工概述

1.1 快速施工特点

预应力混凝土简支梁桥的快速施工，相比常规施工模式优势尽显。预制装配化程度颇高，大量采用预制梁段等构件，极大削减现场湿作业量，让施工效率显著跃升。这些预制构件在工厂标准化生产，质量稳定可控，规避现场施工质量波动风险。施工流程紧凑连贯，经对各施工步骤的优化、顺序的科学排布，各环节衔接紧密，闲置时间与资源浪费大幅减少，既加快进度，又保障工程质量稳定可靠。机械化作业水平也大幅提升，从梁体预制、混凝土浇筑，到预应力张拉，各类现代化机械设备搭配自动化控制系统大显身手，不仅提升效率，还减轻工人劳动强度，筑牢施工安全防线^[1]。这般优势下，工期得以大幅缩短，能为后续工程环节预留充足时间。但快速施工也催生新挑战，对预制构件质量把控要求更严苛，施工全程各环节的协调配合也越发关键，需精细管理保障无缝衔接。

1.2 施工流程关键环节

预应力混凝土简支梁桥快速施工流程，囊括梁体预制、混凝土浇筑、预应力张拉、架设安装这些关键步骤。梁体预制在工厂开展，涉及模板安装、钢筋绑扎、预应力管道精准布设，要保障构件尺寸精准、质量过

硬，预应力管道的位置与尺寸容不得半点马虎。混凝土浇筑前，需充分拌合、振捣，浇筑时严密监控，谨防裂缝、空洞等瑕疵。预应力张拉环节举足轻重，得严格按照设计要求张拉、锚固预应力筋，精准把控预应力值，同步做好监控测量，杜绝预应力损失与梁体变形。架设安装时，要让预制梁段精准就位、稳固相连，全程严格监控，守护施工安全与梁体稳定。各环节紧密相扣，任一环衔接不畅，都可能影响预应力效果，它们共同构筑起高效、安全的施工体系。

2 预应力损失的计算方法

2.1 理论计算公式法

理论计算公式法是预应力混凝土简支梁桥中预应力损失计算的基础且常用方法。该方法依据材料力学和结构力学的原理，运用一系列经过验证的理论公式来计算预应力损失。这些公式综合考虑了混凝土和钢材的弹性模量、预应力筋的张拉应力、锚固系统的摩擦系数、混凝土的徐变和收缩等关键因素。在应用此方法时，必须确保准确获取简支梁桥的相关材料参数和结构尺寸，并严格按照公式要求执行计算。此方法计算过程清晰，结果相对准确，但前提是必须正确选择和应用相应的公式，并确保所有输入参数的精确性。

2.2 试验法

试验法是通过在实验室或简支梁桥施工现场进行预应力筋的张拉和锚固试验，以及测量混凝土结构的变形和应力变化，来测定预应力损失的一种方法。通过对比张拉前后的应力变化，可以精确计算出预应力损失。试验法具有直观性和可靠性，能够真实反映简支梁桥在实际工程中的预应力损失情况。然而，试验法通常需要消耗较多的资源和时间，且试验结果可能受到试验条件、仪器精度、人员操作等多种因素的影响。因此，在实际应用中，试验法通常作为理论计算公式法的验证或补充手段。

2.3 有限元分析法

有限元分析法是一种先进的数值分析方法,适用于模拟和计算预应力混凝土简支梁桥的应力和变形。该方法通过将简支梁桥结构划分为多个有限元单元,并考虑材料的非线性特性和结构的几何非线性特性,建立结构的有限元模型。通过求解有限元方程,可以精确计算出简支梁桥在不同荷载和边界条件下的应力和变形。在预应力损失的计算中,有限元分析法能够综合考虑混凝土和钢材的非线性本构关系、预应力筋的张拉过程、锚固系统的摩擦和滑移等因素,从而更准确地计算预应力损失^[2]。有限元分析法具有计算精度高、适应性强、能够模拟复杂结构特点的优势,但计算过程相对复杂,需要专业的软件和计算资源支持。

3 预应力混凝土简支梁桥快速施工中预应力损失研究

3.1 混凝土弹性压缩对简支梁预应力损失的影响

在预应力混凝土简支梁桥的快速施工中,混凝土弹性压缩是导致预应力损失的重要因素。当混凝土承受预应力筋的张拉力时,其内部会产生弹性应变,导致预应力筋的实际伸长量小于理论值,从而降低预应力筋中的预应力值。混凝土的弹性模量、截面面积和张拉力等因素均会影响这一损失的大小。在简支梁的设计与施工中,需特别关注混凝土的这些特性,以合理预测和控制预应力损失。

3.2 混凝土收缩和徐变对简支梁预应力损失的作用

混凝土的收缩和徐变现象在预应力混凝土简支梁桥的长期性能中起着重要作用。这两种现象均会导致混凝土体积的变化,进而影响预应力筋的应力状态。在快速施工过程中,混凝土的收缩和徐变可能会使预应力筋产生松弛,导致预应力损失。因此,在设计与施工中,需考虑混凝土的配合比、水泥品种、环境条件以及张拉时间等因素,以合理预测和控制预应力损失。

3.3 张拉控制应力在简支梁预应力损失中的影响

张拉控制应力是预应力混凝土简支梁桥施工中的关键环节。然而,在实际张拉过程中,由于张拉设备的精度、张拉速度的控制以及预应力筋的摩擦和滑移等因素,实际张拉的应力可能与设定的控制应力存在偏差,从而导致预应力损失。为了减小这种损失,需严格控制张拉工艺和操作规范,确保张拉过程的准确性和稳定性。

3.4 钢筋松弛对简支梁预应力损失的贡献

在长期荷载作用下,预应力钢筋会发生松弛现象,导致预应力值逐渐降低。这一松弛现象是由钢筋内部微观组织的变化和应力重新分布引起的。在预应力混凝土简支梁桥的设计与施工中,需充分考虑钢筋的松弛特

性,并采取相应的措施来减少预应力损失。例如,可以选择具有较低松弛率的钢筋材料,或者通过优化结构设计来降低预应力损失。

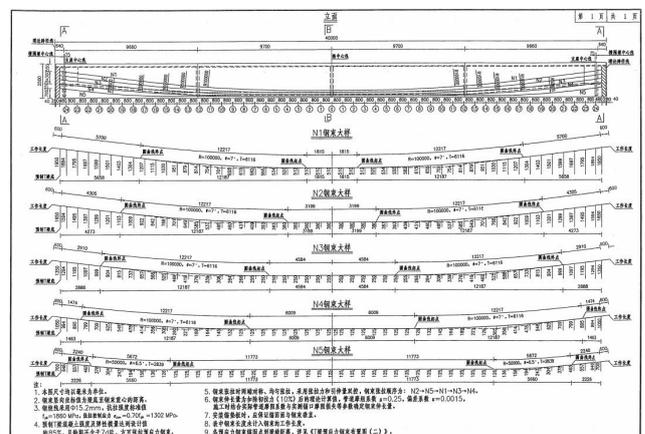
3.5 预应力钢筋与孔道内壁之间的摩擦引起的简支梁预应力损失

在预应力混凝土简支梁桥的施工场景下,当对预应力钢筋展开张拉操作时,钢筋与预留孔道的内壁会产生摩擦作用。这一摩擦过程会消耗掉一部分原本用于使预应力钢筋伸长的能量,直接后果便是预应力钢筋的实际伸长程度达不到理论计算的数值,预应力随之降低,预应力损失也就接踵而至。预应力钢筋与孔道内壁之间的摩擦所造成的预应力损失,和多个因素存在紧密联系。孔道的形状设计至关重要,不规则或粗糙的孔道内壁,无疑会加大摩擦阻力;孔道的尺寸大小,无论是直径过大或过小,都可能改变钢筋与孔道壁的接触状态,影响摩擦程度。孔道材料的材质特性,也决定了其表面摩擦系数高低,进而左右摩擦损耗。润滑情况更是不容忽视,良好的润滑处理能够极大降低摩擦系数,减少能量损耗。此外,预应力筋的张拉速度也会产生影响,过快的张拉速度可能来不及让润滑剂充分发挥作用,加剧摩擦状况^[3]。为有效降低这类预应力损失,施工时可选择在孔道内均匀涂抹优质润滑剂,或是采用波形、螺旋形这类特殊设计的孔道,借助其结构特点减小摩擦阻力。

4 案例:某预应力混凝土简支梁桥快速施工中的预应力损失控制

4.1 工程概况

在新建重庆至湖南高速制梁场,后张法制备的混凝土简支T梁是高速公路的主导梁型。在施工过程中,大部分T梁在终拉过程中不同程度出现预施应力达到设计控制值而伸长量偏差不在规范允许的 $\pm 6\%$ 内,部份伸长量偏差达到 $\pm 8\% \sim 10\%$ 。



4.2 40mT梁预应力钢束伸长量计算

AB'、BC'、CD'，其中AB、CD、AB'、CD'为直线段，自梁端向跨中将钢绞线分为AB、BC、CD三段和 BC、BC'为圆曲线段。计算如下：

钢束	段落	P	L	θ	$\kappa L + \mu\theta$	$1 - e^{-(\kappa L + \mu\theta)}$	$P_p = P[1 - e^{-(\kappa L + \mu\theta)}] / (\kappa L + \mu\theta)$	A_y	$\Delta L = P_p L / A_y E_g$	伸长量
N1	AB	195.300	5.7	0	0.0085	0.00851	194.467	140	40.60	275
	BC	193.637	12.21	0.122	0.0488	0.0476	188.982	140	84.57	
	CD	184.402	1.815	0	0.00272	0.00271	184.402	140	12.26	
	AB'	185.700	0.587	0	0.0008	0.00088	185.619	140	4	
	BC'	190.294	1.745	0.087	0.0244	0.02413	187.988	140	12.02	
	CD'	195.300	17.312	0	0.0259	0.02563	192.786	140	122.25	
N2	AB	195.300	4.305	0	0.0064	0.00643	194.671	140	30.70	275
	BC	194.043	12.217	0.122	0.0488	0.04769	189.378	140	84.75	
	CD	184.788	3.199	0	0.00479	0.00478	184.346	140	21.60	
	AB'	185.927	1.391	0	0.00208	0.00208	185.733	140	9.46	
	BC'	191.276	4.363	0.087	0.02836	0.02796	188.589	140	30.14	
	CD'	195.300	13.88	0	0.02082	0.0206	193.281	140	98.27	
N3	AB	195.300	2.91	0	0.00436	0.00435	194.874	140	20.77	274
	BC	194.449	12.217	0.122	0.04886	0.04769	189.775	140	84.93	
	CD	185.175	4.584	0	0.00687	0.00685	184.540	140	30.99	
	AB'	186.023	1.723	0	0.00258	0.00258	185.783	140	11.73	
	BC'	192.631	8.727	0.087	0.0349	0.0343	189.308	140	60.52	
	CD'	195.300	9.173	0	0.0137	0.0136	193.963	140	65.17	
N4	AB	195.300	1.474	0	0.0022	0.0022	195.084	140	10.53	273
	BC	194.869	12.217	0.122	0.0488	0.04769	190.184	140	85.11	
	CD	185.574	6.009	0	0.009	0.00897	184.741	140	40.66	
	AB'	186.744	4.294	0	0.00644	0.00642	186.145	140	29.28	
	BC'	193.379	8.727	0.087	0.0349	0.0343	190.042	140	60.75	
	CD'	195.300	6.591	0	0.0098	0.00983	194.338	140	46.9	
N5	AB	195.300	2.24	0	0.00336	0.00335	194.972	140	16.00	272
	BC	194.645	5.672	0.113	0.0368	0.0361	191.100	140	39.70	
	CD	187.599	11.773	0	0.0176	0.0175	185.952	140	80.19	
	AB'	187.606	8.801	0	0.0132	0.01311	186.373	140	60.08	
	BC'	194.95	9.599	0.0959	0.03839	0.0376	191.255	140	67.25	
	CD'	195.300	1.196	0	0.00179	0.00179	195.125	140	8.55	

N1钢束单端延伸量 $\Delta L = 275/2 = 137.5\text{mm}$ ，取80%为110mm，图纸设计伸长量：122.4mm

N2钢束单端延伸量 $\Delta L = 275/2 = 136.4\text{mm}$ ，取80%为109.1mm，图纸设计伸长量：122.4mm

N3钢束单端延伸量 $\Delta L = 274/2 = 136.9\text{mm}$ ，取80%为109.5mm，图纸设计伸长量：123.3mm

N4钢束单端延伸量 $\Delta L = 273/2 = 137.5\text{mm}$ ，取80%为110mm，图纸设计伸长量：124.2mm

N5钢束单端延伸量 $\Delta L = 272/2 = 137.5\text{mm}$ ，取80%为110mm，图纸设计伸长量：124.2mm

实际施工时前10%张拉伸长量不准确，不予考虑，控

制10%~20%、20%~100%的伸长量，伸长量偏差不超过±6%，否则应分析原因或重新张拉。

4.3 预应力损失影响因素及控制措施

(1) 钢绞线弹模测量误差：预制场钢绞线进场后每60t为一个检验批对弹性模量进行实测值测定。如不同批次钢绞线用于同一片T梁时，弹模值存在较大差异，会导致理论伸长值与实际不符，从而造成实际张拉偏差超标。控制措施为在钢绞线进货时采用同一批次的钢绞线，对于同一片T梁采用弹模相同的钢绞线。

(2) 孔道摩阻与孔道偏差方面：孔道的定位偏差取决于定位筋制作和安装这两个环节。因为现场依靠人工

操作来完成相关工作的,所以偏差在不同程度上都会存在,这对孔道摩阻和孔道偏差产生影响,进而影响实际伸长量。所采取的措施如下:严格依据设计给定的孔道坐标精确计算定位筋的加工尺寸;在安装定位筋时,严格按照设计的间排距进行安装,并且确保安装牢固;在安装抽芯管的时候,要留意对已经安装且牢固的定位筋加以保护,防止其发生移动而导致定位偏差,从而影响成孔质量。

(3) 锚垫板质量及安装误差:锚垫板质量偏差主要是壁厚及直径两个方面,造成抽芯管偏差而影响孔道位置;以及端模板加工精度达不到要求,锚垫板安装后造成偏差。对于锚垫板质量造成的误差,加强锚垫板进场质量检查与验收,在进场验收时严格查验,保证承压板厚度、壁厚,同时要求满足直径与抽芯管直径相配套。

(4) 工作锚、工具锚与限位板的张拉力:进场的钢绞线不同批次其直径有差异,如果张拉时采用的限位板与钢绞线线径不对应,会引起预应力损失。因此,采用的工作锚、工具锚和限位板应为同一生产厂家的配套产品,严格配套使用,不能使用不同生产厂家的产品。

(5) 线束“松弛不一”:同一孔道内不同预应力筋未同时受力也是影响预施应力准确性因素之一,主要原因是编束不好、穿束方法不当及张拉时不同步引起各预应力筋“松紧不一”,造成虽然达到设计张拉力而同束预应力筋未同步均匀受力的情况,从而引起伸长值偏差,造成应力损失。施工过程中应加强编束、穿束及张

拉同步控制^[4]。

(6) 张拉时千斤顶、油压表不准确:千斤顶、油压表的标定匹配有效期为六个月,但有时会在有效期内因各种因素导致油压表读数不准确,造成表面上张拉力达到控制值而实际不准确的情况发生,从而影响张拉结果。因此,当张拉结果出现异常时,张拉时千斤顶、油压表也需要进行排查。

结束语

预应力混凝土简支梁桥作为重要的交通基础设施,其快速施工中的预应力损失问题不容忽视。本文通过分析预应力损失的计算方法与原因机理,并结合具体工程实例,展示了预应力损失对桥梁结构安全的影响及应对措施的有效性。未来,应继续深化预应力损失研究,提升施工技术和管理水平,为保障桥梁结构的安全稳定做出更大贡献。

参考文献

- [1]刘银军.大跨度预应力梁后张法施工技术[J].建筑机械化,2024,45(05):122-123+131.
- [2]付鑫.土建工程混凝土施工技术要点[J].砖瓦,2024,(05):162-164.
- [3]方国鼎.公路桥梁预制预应力混凝土梁架设技术[J].中国水泥,2024,(05):77-79.
- [4]孙清祥.某预应力混凝土简支T梁车撞受损分析及加固方案的研究[J].工程建设,2022,54(08):43-50.