

等跨等截面钢筋混凝土连续深梁 内力计算—连梁图表法

许琪楼 龚绍熙

(土建系)

提 要: 本文分析比较了有限元法计算的钢筋混凝土连续深梁支座反力,总结了连续深梁内力分布的特点,提出了工程设计的实用计算方法——连梁图表法。与其它方法相比具有简捷方便,应用准确的优点。

关键词: 深梁; 钢筋混凝土结构

1 概 述

连续深梁是指跨高比 $l/h \leq 2.5$ 的连续梁。由于跨高比小,竖向正应力影响大,平截面假定不成立,内力分布于不同连续浅梁。砼的非弹性性能及裂缝开展,使其内力分布还与加荷过程有关。但因目前连续深梁的塑性内力重分布的研究尚不成熟,钢筋砼连续深梁均以弹性方法计算内力值进行截面设计。

连续深梁的内力计算比较复杂,目前国外大都按浅梁的方法和图表计算弯矩和剪力,并通过调整深梁的内力臂配置受力筋;也有用有限元的方法计算并将内力值制成图表,供设计人员采用。前者混淆了二种不同结构构件的受力特点,计算内力并不反映实际受力情况;后者虽然比较准确,但有限元的方法并非一般工程设计人员能普遍直接利用,即使制成图表,也很难能囊括各种情况。在工程设计中要适应不同的跨高比及荷载位置常需进行双向插值计算及内力迭加。查阅大量的图表使用上也比较麻烦。本文在分析连续深梁弹性内力特点的基础上,提出内力计算的连梁图表法。该法的特点是仅利用少量图表(比一般内力图表减少80%以上)即可对任意荷载(一般图表所不能包括的荷载种类)进行准确、简捷、方便的计算。

2 连续深梁内力特点

用有限元方法可以对连续深梁弹性内力进行较精确的分析,但内力计算结果还与很多因素有关。例如:计算程序的选用,计算单元的划分,计算简图的确定,即使是砼强度等级,配筋率,钢筋级别,单元厚度诸因素均对结果有一定影响。在后面表格中相应每一种受力状态列出了武汉水电学院,华南工学院及郑州工学院三个单位的计算结果,相互之间均有差异,其原因即为此。但是总体上讲,它们均反映了连续深梁的受力特点:

1.1 内力分布的收敛性

本文1987年8月31日收到。

当荷载作用在跨中时,主要受力区集中在荷载跨内,非荷载作用跨内力值明显低于浅梁。表1列出二跨、三跨连续深梁单位荷载作用在跨中时的反力值。分析三跨连续梁反力系数可知:当荷载作用在边跨AB跨中时,A支反力增大;C、D支反力减小,导致AB跨跨中正弯矩增大而B支座截面的负弯矩减小;当荷载作用在BC跨中时,A、D支反力减小,导致

| 受力状态 | 见图1:a) | | | | 见图1:b) | | | | 见图1:c) | | | |
|------|--------|--------|--------|---------|--------|--------|---------|---------|---------|--------|--------|---------|
| | 反力系数 | | | | 反力系数 | | | | 反力系数 | | | |
| | RA | RB | RC | RD | RA | RB | RC | RD | RA | RB | RC | RD |
| 跨高比 | 计算单位 | | | | | | | | | | | |
| | I | 0.4570 | 0.5860 | -0.0430 | 0.4332 | 0.5725 | 0.0553 | -0.0610 | -0.0005 | 0.505 | 0.505 | -0.0005 |
| | II | 0.4848 | 0.5304 | -0.0152 | 0.4671 | 0.5234 | 0.0519 | -0.0474 | 0.0038 | 0.4962 | 0.4962 | -0.0038 |
| 1.5 | III | 0.4707 | 0.5584 | -0.0292 | 0.4519 | 0.5437 | 0.0479 | -0.0465 | -0.0011 | 0.5011 | 0.5011 | -0.0011 |
| | I | 0.4386 | 0.6228 | -0.0614 | 0.4381 | 0.6097 | -0.0330 | -0.0140 | -0.0459 | 0.5459 | 0.5459 | -0.0459 |
| | II | 0.4541 | 0.5918 | -0.0459 | 0.4490 | 0.5845 | -0.0150 | -0.0176 | -0.0433 | 0.5433 | 0.5433 | -0.0433 |
| 2.0 | III | 0.4408 | 0.6182 | -0.0591 | 0.4387 | 0.6046 | -0.0253 | -0.018 | -0.0499 | 0.5499 | 0.5499 | -0.0499 |
| | I | 0.4262 | 0.6475 | -0.0737 | 0.4290 | 0.6414 | -0.0698 | -0.0005 | -0.0591 | 0.5591 | 0.5591 | -0.0591 |
| | II | 0.4374 | 0.6252 | -0.0526 | 0.4329 | 0.6325 | -0.0626 | -0.0113 | -0.0583 | 0.5588 | 0.5588 | -0.0583 |
| 2.5 | III | 0.4237 | 0.652 | -0.0762 | 0.4230 | 0.6533 | -0.0766 | -0.0002 | -0.0655 | 0.5655 | 0.5655 | -0.0655 |
| | I | 0.4192 | 0.6616 | -0.0808 | 0.4219 | 0.6635 | -0.0929 | 0.0074 | -0.066 | 0.5646 | 0.5646 | -0.0646 |
| | II | 0.4224 | 0.6432 | -0.0716 | 0.4228 | 0.6615 | -0.0918 | 0.0075 | -0.0648 | 0.5648 | 0.5648 | -0.0648 |
| 浅梁 | III | 0.4153 | 0.6682 | -0.0741 | 0.4170 | 0.6840 | -0.107 | 0.01 | -0.0714 | 0.5714 | 0.5714 | -0.0714 |
| | I | 0.405 | 0.688 | -0.094 | 0.4 | 0.725 | -0.15 | 0.025 | -0.075 | 0.575 | 0.575 | -0.075 |
| | II | | | | | | | | | | | |

注:①、I、II、III,分别为郑州工学院、武汉水电学院、华南工学院有限元计算结果。②、支反力受压为正,受拉为负。

BC支座截面负弯矩减小而BC跨跨中正弯矩增大。荷载跨跨中正弯矩的增加还随跨高比的减

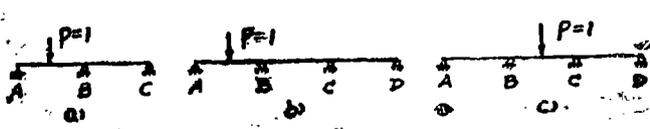


图1

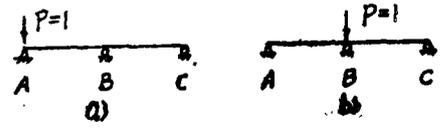


图2



图3

表 2

| 受力状态 | | 见图2:a | | | 见图2:b | | |
|------|------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 跨高比 | 计算单位 | 反力系数 | | | 反力系数 | | |
| | | R _A | R _B | R _C | R _A | R _B | R _C |
| 1 | I | 0.8179 | 0.3642 | -0.1821 | 0.1414 | 0.7172 | 0.1414 |
| | II | 0.8673 | 0.2654 | -0.1327 | 0.1737 | 0.6526 | 0.1737 |
| | III | 0.8470 | 0.3060 | -0.1500 | 0.1509 | 0.6982 | 0.1509 |
| 1.5 | I | 0.9075 | 0.1850 | -0.0925 | 0.0729 | 0.8542 | 0.0729 |
| | II | 0.9415 | 0.1170 | -0.0585 | 0.1025 | 0.7950 | 0.1025 |
| | III | 0.9298 | 0.1404 | -0.0702 | 0.0708 | 0.8554 | 0.0708 |
| 2 | I | 0.9542 | 0.0916 | -0.0458 | 0.0369 | 0.9262 | 0.0369 |
| | II | 0.9791 | 0.0412 | -0.0206 | 0.0675 | 0.8650 | 0.0675 |
| | III | 0.9676 | 0.0648 | -0.0324 | 0.0323 | 0.9354 | 0.0323 |
| 2.5 | I | 0.9759 | 0.0482 | -0.0241 | 0.0199 | 0.9602 | 0.0199 |
| | II | 0.9886 | 0.0288 | -0.0114 | 0.0555 | 0.8890 | 0.0555 |
| | III | 0.981 | 0.0380 | -0.0190 | 0.0182 | 0.9636 | 0.0182 |
| 浅梁 | | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |

注：同表1

小而更加明显。二跨深梁也有类似的特点。这反映了连续深梁承受荷载的方式与浅梁是不同的，浅梁主要是以梁的弯曲刚度承担横向荷载，由于弯曲变形，使之能将荷载效应波及至比较远的截面上，而作用在深梁上的荷载只有一部分由梁的弯曲刚度承担，另一部分则由剪切刚度直接传到荷载跨二侧的支座上。随着跨高比减小，剪切刚度提高，剪切传力比例增大，弯曲传力比例减小，导致内力分布呈现一定的收敛性。

2.2 内力分布的发散性

当荷载作用在支座截面上时，该支座反力低于荷载值，其它支座反力也不为零。表2、表3分别列出二跨，三跨连续深梁单位荷载作用在边支座及中支座截面时反力值。由此可知：随着跨高比减小，上述特点愈加明显。这是由于深梁截面高、剪切刚度大，在荷载通过承压方式传至支座的过程中，其剪切刚度可扩散出部分荷载，导致无荷载作用的支座也产生一定的反力。而浅梁由于其剪切刚度很小，荷载扩散效应甚微，因而全部荷载都传到荷载作用的支座上，其它支座均无反力。

表 3

| 受力状态 | | 见图3:a) | | | | 见图3:b) | | | |
|------|------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 跨高比 | 计算单位 | 反力系数 | | | | 反力系数 | | | |
| | | R _A | R _B | R _C | R _D | R _A | R _B | R _C | R _D |
| 1 | I | 0.8380 | 0.2905 | -0.0978 | -0.0317 | 0.1282 | 0.6985 | 0.2064 | -0.0391 |
| | II | 0.8484 | 0.2641 | -0.0734 | -0.0391 | 0.1506 | 0.6601 | 0.2283 | -0.0389 |
| | III | 0.8243 | 0.3047 | -0.0823 | -0.0467 | 0.1471 | 0.6641 | 0.2304 | -0.0416 |
| 1.5 | I | 0.9223 | 0.1525 | -0.0734 | -0.0019 | 0.0657 | 0.8391 | 0.1269 | -0.0309 |
| | II | 0.9394 | 0.1183 | -0.0543 | -0.0029 | 0.0750 | 0.8150 | 0.1450 | -0.0350 |
| | III | 0.9273 | 0.1417 | -0.0669 | -0.0026 | 0.0713 | 0.8204 | 0.1453 | -0.0370 |
| 2 | I | 0.9624 | 0.0779 | -0.030 | 0.0027 | 0.0344 | 0.9122 | 0.0724 | -0.0190 |
| | II | 0.9727 | 0.0567 | -0.0315 | +0.0021 | 0.0386 | 0.9010 | 0.0821 | -0.0217 |
| | III | 0.9669 | 0.0693 | -0.0393 | 0.0031 | 0.0348 | 0.9077 | 0.0801 | -0.0226 |
| 2.5 | I | 0.9303 | 0.0420 | -0.0249 | +0.0026 | 0.0191 | 0.9500 | 0.0417 | -0.0113 |
| | II | 0.9862 | 0.0296 | -0.0179 | 0.0020 | 0.0212 | 0.9447 | 0.0470 | -0.0129 |
| | III | 0.9832 | 0.0363 | -0.0222 | 0.0027 | 0.0175 | 0.9518 | 0.0438 | -0.0131 |
| 浅梁 | | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | |

注：见表1

3 连梁图表法

当荷载作用位置既非跨中也非支座截面时,其内力分布同时具有上述二种分布特点。当荷载接近跨中时,第一种分布占主导地位,而当接近支座时又趋于第二种分布。大量试算表明:在任意荷载下,深梁的支反力均可以由上述二种荷载(跨中荷载、支座荷载)的反力值组合而成。由此提出等跨等截面连续深梁内力计算法:连梁图表法。计算过程如下:

3.1 将实际荷载作用在一个假想连续浅梁上,假想连续梁长度与深梁相同,假想连续梁支座除包含深梁全部支座外,在相应深梁每跨跨中位置还必须增设附加支座,用连续浅梁的图表或计算方法求解假想连续梁的支反力。

3.2 将假想连续梁的支反力作用在深梁结构上,这个支反力力系称等效荷载,它包括深梁支座截面荷载和跨中截面荷载两大类。如果已知这二类荷载作用下的反力系数(可用有限元或其它方法计算出来列成图表),则深梁结构的反力值即可迭加而成。

3.3 计算深梁内力

图4所示即为连梁图表法计算过程:a)为实际深梁荷载作用图;b)为假想连续浅梁计算图;c)为用等效荷载计算深梁支反力的计算简图。这种方法类似于连续浅梁的支座反力等效方法。但因深梁传力不同于浅梁有弯曲传力和剪切传力二部分,支座反力等效方法从理论上讲不再适用于深梁。但另一方面,连梁图表法与支座反力等效方法还有所不同,在支反力等效方法中,假想连续梁的支座数目是仅要求大于或等于原结构的支座数即可,而连梁图表法要求假想连续梁的支座必须包含原深梁结构所有支座,还必须在所有跨中截面增加新支座。因此集中荷载等效力系在每一个支座截面和每一个跨中截面都有其分力,可以全面体现深梁内力分布的二大特点。致使连梁图表法计算结果很准确,完全满足工程设计的要求。表4、

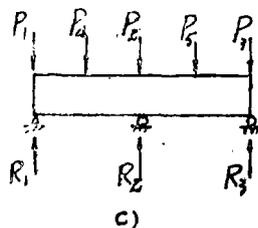
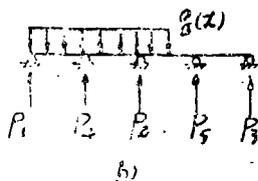
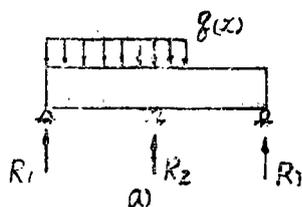


图4



图5

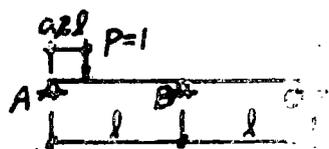


图6

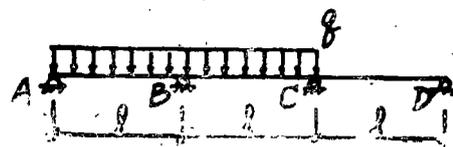


图7

5、6 分别列出几个算例, 比较了连梁图表法和直接利用有限元方法计算的支反力, 连梁图表法使用的跨中单位荷载和支座截面单位荷载作用下的反力系数分别采用了表 1、2、3 所列的三个单位计算值。由比较可知: 连梁图表法与有限元直接计算的结果基本上相同; 且连梁图表法与有限元程序的选用无关, 采用不同的计算程序均得到相同的结论。

连梁图表法与一般图表法相比具有下列显著优点: (1)。它可以计算任意荷载作用下的内力, 而一般图表法仅列出均布荷载(全跨)及集中荷载下的内力; (2)。计算图表大大减少, 仅只需列出每个支座截面和每个跨中截面单位荷载作用下的支反力值。(3)。计算简捷方便。因图表的变化仅考虑跨数, 跨高比, 不考虑荷载的类别及作用位置, 避免双向插值运算。假想连梁反力则可以直接利用浅梁的计算图表或者使用工程设计人员熟知的弯矩分配法计算。

表 4 支反力系数计算比较

| 受力状态 | | 见图 5 | | | | | |
|------|------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 跨高比 | 计算单位 | 有限元计算结果 | | | 连梁图表法结果 | | |
| | | R _A | R _B | R _C | R _A | R _B | R _C |
| 1.0 | I | 0.430 | 1.140 | 0.430 | 0.4271 | 1.1457 | 0.4271 |
| | II | 0.438 | 1.024 | 0.438 | 0.4933 | 1.0134 | 0.4933 |
| | III | 0.461 | 1.078 | 0.461 | 0.4587 | 1.0825 | 0.4587 |
| 1.5 | I | 0.413 | 1.174 | 0.413 | 0.4095 | 1.1809 | 0.4095 |
| | II | 0.444 | 1.112 | 0.444 | 0.4545 | 1.0913 | 0.4545 |
| | III | 0.422 | 1.156 | 0.422 | 0.4199 | 1.1601 | 0.4199 |
| 2.0 | I | 0.400 | 1.200 | 0.400 | 0.3971 | 1.2058 | 0.3971 |
| | II | 0.420 | 1.16 | 0.420 | 0.4339 | 1.1322 | 0.4339 |
| | III | 0.399 | 1.202 | 0.399 | 0.3974 | 1.2052 | 0.3974 |
| 2.5 | I | 0.392 | 1.216 | 0.392 | 0.3397 | 1.2207 | 0.3397 |
| | II | 0.409 | 1.182 | 0.409 | 0.4217 | 1.1566 | 0.4217 |
| | III | 0.386 | 1.224 | 0.388 | 0.3870 | 1.2258 | 0.3870 |

注: 支座实际反力等于(表中系数) × qI

表5 支反力系数计算比较

| 受力状态 | | 见图6 | | | | | |
|------|------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 跨高比 | 计算单位 | 有限元计算结果 | | | 连梁图表法结果 | | |
| | | R _A | R _B | R _C | R _A | R _B | R _C |
| 1.0 | I | 0.6776 | 0.4449 | -0.1225 | 0.6724 | 0.4553 | -0.1276 |
| | II | 0.7163 | 0.3674 | -0.0837 | 0.7104 | 0.3792 | -0.0896 |
| | III | 0.6992 | 0.4016 | -0.2008 | 0.6944 | 0.4110 | -0.1055 |
| 1.5 | I | 0.7214 | 0.3572 | -0.0786 | 0.7156 | 0.3687 | -0.0844 |
| | II | 0.7444 | 0.3112 | -0.0556 | 0.7384 | 0.3232 | -0.0616 |
| | III | 0.7334 | 0.3332 | -0.0666 | 0.7286 | 0.3427 | -0.0714 |
| 2.0 | I | 0.7404 | 0.3192 | -0.0596 | 0.7364 | 0.3271 | -0.0635 |
| | II | 0.7557 | 0.2886 | -0.0443 | 0.7519 | 0.2962 | -0.0481 |
| | III | 0.7452 | 0.3096 | -0.0548 | 0.7422 | 0.3154 | -0.0577 |
| 2.5 | I | 0.7477 | 0.3046 | -0.0523 | 0.7453 | 0.3093 | -0.0547 |
| | II | 0.7570 | 0.2860 | -0.0430 | 0.7525 | 0.2950 | -0.0475 |
| | III | 0.7477 | 0.3046 | -0.0523 | 0.7460 | 0.3079 | -0.0540 |

4 结 论

本文提出的连梁图表法在工程设计计算中具有简捷方便,适用准确的特点,可以作为等跨等截面钢筋混凝土连续深梁内力计算的实用方法。但连梁图表法是凭经验归纳提出的,缺乏严密的理论论证,它能否适于计算不等跨连续深梁内力及其它情况还有待于进一步研究验证。

参 考 文 献

- (1) 许琪楼 龚绍熙等跨等截面连续深梁内力分析及计算图表 郑州工学院
- (2) 钱国强、徐康明等：连续深梁内力分析 武汉水利电力学院
- (3) 陈止戈、许志雄、黄小许 钢筋砼等截面连续深梁内力系数 华南工学院
- (4) 许琪楼 狭支连续梁支座反力等效荷载方法及应用 郑州工学院

表6 支反力系数计算比较

| 受力状态 | | 见图7 | | | | | | | |
|------|------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 跨高比 | 计算单位 | 有限元计算结果 | | | | 连梁图表法结果 | | | |
| | | R _A | R _B | R _C | R _D | R _A | R _B | R _C | R _D |
| 1.0 | I | 0.4668 | 1.0378 | 0.5241 | -0.0287 | 0.4616 | 1.0344 | 0.5389 | -0.0394 |
| | II | 0.500 | 1.020 | 0.500 | -0.0200 | 0.4976 | 0.9840 | 0.5393 | -0.0208 |
| | III | 0.482 | 1.007 | 0.540 | -0.029 | 0.4810 | 1.0037 | 0.5395 | -0.0292 |
| 1.5 | I | 0.4319 | 1.0973 | 0.5056 | -0.0348 | 0.4298 | 1.1001 | 0.5104 | -0.0403 |
| | II | 0.444 | 1.079 | 0.515 | -0.033 | 0.4445 | 1.0703 | 0.5261 | -0.0408 |
| | III | 0.432 | 1.090 | 0.524 | -0.046 | 0.4305 | 1.0927 | 0.5229 | -0.0462 |
| 2.0 | I | 0.4151 | 1.1298 | 0.4951 | -0.04 | 0.4134 | 1.1329 | 0.4941 | -0.0403 |
| | II | 0.421 | 1.118 | 0.5 | -0.039 | 0.4191 | 1.1205 | 0.5017 | -0.0413 |
| | III | 0.407 | 1.141 | 0.497 | -0.045 | 0.4067 | 1.1417 | 0.4965 | -0.049 |
| 2.5 | I | 0.4059 | 1.1498 | 0.4826 | -0.0383 | 0.4043 | 1.1525 | 0.4814 | -0.0386 |
| | II | 0.406 | 1.146 | 0.489 | -0.041 | 0.4065 | 1.1478 | 0.4847 | -0.0390 |
| | III | 0.395 | 1.168 | 0.479 | -0.042 | 0.3949 | 1.1685 | 0.4784 | -0.0417 |

注: 见表4

The Method of Continuous Beam Combined With Table For Computing Internal Force of Uniform Span And Constant Section Continuous Deep Beam of Reinforced Concrete

Xu Qilou Gong Shao Xi
(ZhengZhou Institute of Technology)

Abstract In this paper the support forces of continuous deep beams of reinforced concrete are compared computed by finite element method. The distribution characters of internal forces of continuous deep beam are induced. The method of continuous beam combined with table is proposed which is a practical and simpler, quicker, more useful and accurate than another.

Keywords: deep beam, Reinforced concrete structure